



ESCOLA NAVAL

talant de biefaire



Rúben Terêncio Jaime Ricardo

Desenvolvimento e Análise Robusta de Táticas - Terrestres

*Criação, Alimentação e Implementação de um modelo de
progressão*

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Ciências Militares Navais, na especialidade de Fuzileiros



Alfeite

2022



ESCOLA NAVAL

talantoe biẽfaiẽ



Rúben Terêncio Jaime Ricardo

*Desenvolvimento e Análise Robusta de Táticas - Terrestres
Criação, Alimentação e Implementação de um modelo de
progressão*

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Ciências Militares Navais, na especialidade de Fuzileiros

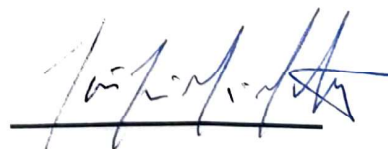
Orientação de: CMG RES Maia Martins

O Aluno Mestrando,

O Orientador,

Assinado por: **RÚBEN TERÊNCIO JAIME RICARDO**
Num. de Identificação: 15555183
Data: 2022.06.23 16:33:20+01'00'

Rúben Ricardo



João Martins

Alfeite
2022

Don't ever mistake my silence for ignorance, my calmness for acceptance or my kindness for weakness. Compassion and tolerance are not a sign of weakness, but a sign of strength.

-Dalai Lama

Ao meu pai, à minha mãe e à minha irmã...

Por tudo.

Agradecimentos

Antes de dar início à exposição do presente trabalho de investigação, é importante enaltecer todas as pessoas que contribuíram para a realização deste projeto, para a minha formação e crescimento como Fuzileiro e como ser humano.

A Deus Pai, Filho e Espírito Santo, por me iluminar e conduzir sempre no bom caminho.

À minha família, pelos valores, pelo apoio imensurável, pelo amor e carinho, por todo o sacrifício, pelos conselhos, pela presença e pela forma como me educaram.

Ao Sr. Comandante Maia Martins, orientador desta dissertação, pelo desafio proposto, pela aprendizagem constante e disponibilidade para esclarecimento de dúvidas, por forma a garantir que o trabalho seguisse sempre no rumo certo.

Ao Sr. Comandante Almeida Gabriel, pela experiência, pelo conhecimento adquirido ao longo dos cinco anos e pela passagem dos pilares basilares da essência e carácter de um Fuzileiro.

Aos meus camaradas do curso CMG Fernando Amor Monteiro de Barros, por toda a ajuda e colaboração, por todas as histórias e vivências passadas, pelo verdadeiro significado de camaradagem e espírito de sacrifício.

Por último, aos meus amigos, colegas e professores de Mirandela, por me acompanharem ao longo deste percurso.

A todos o meu sincero e profundo Obrigado.

Resumo

A ideia Desenvolvimento e Análise Robusta de Táticas - Terrestres (DART-T) consiste num sistema de apoio à decisão, escrito em linguagem MATLAB, que tem vindo a ser desenvolvido nos últimos anos pela Escola Naval. Este software permite a criação de vários cenários (arborizado, segurança a 360° em torno de um objetivo, ocupação de um objetivo, etc.) e simulação das diferentes técnicas, táticas e procedimentos (TTP) utilizadas por uma equipa ou secção de Fuzileiros.

O presente trabalho de investigação tem como objetivo a Criação, Alimentação e Implementação de um modelo de progressão para o simulador DART-T. Este tipo de sistemas necessita da observação de comportamentos de um agente, nomeadamente as características, componentes e valências dos Fuzileiros, tendo em conta a sua versatilidade, os diferentes teatros de operações onde atuam e a tipologia de missões que executam.

A versão anterior considerava a progressão dos agentes somente na reação ao contacto com um agente inimigo, e não todo o seu movimento até à chegada da Área de Objetivo. Deste modo, a versão proposta pretende tornar o movimento dos agentes tão próximo quanto possível da realidade, adicionando uma 3ª dimensão ao simulador, que até ao momento era inexistente, bem como outros parâmetros.

Sendo assim, recorreu-se à doutrina NATO e a entrevistas a especialistas, para a definição das dimensões de um modelo de progressão, com a criação e construção de uma matriz multidimensional, com seis dimensões, nomeadamente: Tipo de Terreno, Peso do Equipamento transportado, Declive, Postura, Modo de Progressão e Fator Luminosidade.

Foram efetuadas diversas experiências, com relógios Garmin Forerunner 245, das quais se destaca a realização de um percurso de aproximadamente 5 quilómetros, na Base Naval de Lisboa, com a finalidade de entender o comportamento da velocidade com a variação das diferentes dimensões da Matriz Multidimensional.

Palavras-chave: Simulador baseado em agentes, Modelação, Técnicas Táticas e Procedimentos, Matriz Multidimensional

Abstract

The DART-T idea consists of a decision support system, written in MATLAB, which has been developed in recent years by the Portuguese Naval Academy. This software allows for the creation of various scenarios (wooded, 360° security around an objective, occupation of an objective, etc.) and simulations of the different techniques, tactics, and procedures (TTP) used by a Portuguese Marine team or squad.

The present research work aims to create, feed, and implement a progression model in the DART-T simulator. This type of system requires the observation of an agent's behavior, namely the characteristics, components, and skills of the Portuguese Marines, taking into account their versatility, the different theaters of operations where they act, and the type of missions they execute.

The previous version considered the progression of the agents only in the situation of troops in contact with an enemy agent, and not their entire movement until the arrival of the Objective Area. Thus, the proposed version intends to make the movement of the agents as close as possible to reality, adding a 3rd dimension to the simulator, which until now was non-existent, as well as other parameters.

Therefore, it was taken into consideration both the NATO doctrine and an interview with two experts to define the dimensions of a progression model with the creation and construction of a multidimensional matrix with six dimensions, namely: Type of Terrain, Equipment, Slope, Posture, Progression, and Light Factor.

Several experiments were carried out with Garmin Forerunner 245 watches from which stands out the execution of a route of approximately 5 kilometers, at the Lisbon Naval Base, to understand the behavior of speed with the variation of the different dimensions of the Multidimensional Matrix.

Keywords: Agent-Based Simulator, Modeling, Tactics Techniques and Procedures, Multidimensional Matrix

Índice

Introdução	1
1 Introdução	3
1.1 Pertinência do tema	3
1.2 Enquadramento Teórico	4
1.3 Objetivo	8
1.4 Estrutura da dissertação	9
1.5 Estado da Arte	9
1.5.1 SecurePort	10
1.5.2 <i>Archimedes</i>	10
1.5.3 CROCADILE	11
1.5.4 DEXES	12
1.5.5 ISAAC	12
1.5.6 EINStein	13
1.5.7 MANA	14
1.5.8 JANUS	15
1.5.9 <i>Socrates</i>	16
1.5.10 THOR	16
2 Modelação	17
2.1 Matriz de Dados	17
2.1.1 Tipo de terreno	18
2.1.2 Peso do equipamento transportado	18
2.1.3 Declive do terreno	19
2.1.4 Postura	21
2.1.5 Modo de Progressão	21
2.1.6 Fator Luminosidade	23
2.2 Análise de percursos - Ficheiro Track 2D	24
2.2.1 Cálculo da distância entre dois pontos GPS	25

3	Experimentação e Resultados	29
3.1	Processo de escolha dos Equipamentos para Recolha de Dados . . .	29
3.2	Escolha do método para efetuar o cálculo da distância e velocidade média num percurso GPX	31
3.3	Escolha dos valores para a Dimensão Declive da Matriz Multidimensional	33
3.4	Recolha de Dados	35
3.5	Análise dos Dados	38
3.6	Anomalias detetadas no Simulador	41
4	Implementação	43
4.1	Implementação da Matriz Multidimensional no Simulador	43
4.2	Definição do declive através de um plano inclinado	44
4.3	Obtenção de dados a partir do utilizador	45
4.4	Aplicação num cenário construído no simulador	48
	Conclusão	50
	Bibliografia	55
	Apêndices	59
A	Equipamentos utilizados - Garmin Forerunner 245 e GoPro HERO9 Black	59
A.1	Dimensões - Tipos de dados que guarda	59
A.2	Autonomia	60
A.3	Formato de Gravação	61
A.4	Cadência de Gravação	61
A.5	Armazenamento	61
A.6	Precisão do sinal GPS	62
B	Entrevista	63
B.1	Enquadramento Teórico - Entrevista	63
B.2	Questões	65
B.3	Respostas	66
C	Track 2D	69
D	Criação de um filtro para o Ficheiro Track 2D	73

Lista de Figuras

1.1	<i>Agent-Based Modelling</i> , retirado de Galán et al., 2009	6
1.2	Objetivo do simulador DART-T, retirado de Orzhekhovskiy, 2020 .	7
1.3	Interface do simulador DART-T, retirado de Orzhekhovskiy, 2020 .	8
1.4	Método otimizado MM, retirado de Orzhekhovskiy, 2020	8
1.5	SecurePort: Resultado final de uma simulação, retirado de Martins, 2017	10
1.6	The Deployable Exercise Support (DEXES), retirado de Christensson et al., 2004	12
1.7	ISAAC, retirado de Brandstein et al., 2000	13
1.8	Cenário base para a linha de abastecimento representada no simulador MANA, retirado de Wolf, 2003	15
2.1	Tabela de variação do declive consoante o terreno para forças blindadas e mecanizadas, retirado de Headquarters, 2019	20
2.2	<i>Tobler's Hiking Function</i> , retirado de Tobler, 1993	21
2.3	Visualização de um percurso GPX em duas e três dimensões no ficheiro Track 2D . Fonte: Autor	25
2.4	Gráficos obtidos pelo Ficheiro Track 2D . Fonte: Autor	28
3.1	Comparação da precisão GPS dos equipamentos. Fonte: Autor . . .	30
3.2	Filtro Track 2D - Diagrama de dispersão do comportamento da velocidade consoante o declive. Fonte: Autor	34
3.3	Ilustração do comportamento da velocidade de progressão com a variação do declive em quatro percursos diferentes. Fonte: Autor . . .	35
3.4	Experiência de recolha de dados realizada no dia 25 de maio 2022. Percurso com cerca de 5 km com início na Praia da Ponta dos Corvos e término no Portão das Barrocas da Base Naval do Alfeite. Fonte: Autor	36
3.5	Comportamento da Velocidade e do Declive consoante o Tempo. Fonte: Autor	38
3.6	Aproximação à Fórmula de Tobler. Fonte: Autor	39

4.1	Definição Eixo do Z - Simulador em plano inclinado(função <i>surf</i>) Fonte: Autor	45
4.2	<i>Listboxes</i> . Fonte: Autor	46
4.3	Janela Tipo Área - Seleção do Tipo de Terreno Fonte: Autor	47
4.4	Valores para Área Tipo de Terreno Fonte: Autor	47
4.5	Estrutura de Dados para Armazenar os cenários Fonte: Adaptado de Orzhekhovskiy, 2020	48
4.6	Simbologia utilizada no desenho de cenários Retirado de Orzhekhovs- kiy, 2020	49
4.7	Cenário Fonte: Autor	49
4.8	Demonstração de uma simulação no cenário Fonte: Autor	50
A.1	Equipamentos utilizados	59

Lista de Tabelas

2.1	Matriz Multidimensional	23
3.1	Programação dos equipamentos	29
3.2	Comparação dos dois métodos: LLDISTKM e Distância Euclideana do Vetor Tridimensional	33
3.3	Matriz Multidimensional (resultados)	40
A.1	Sensores dos Equipamentos, adaptado de Garmin, 2022c e Telemetry, 2022c	60
A.2	Formato de Gravação (<i>Fyle Type</i>), adaptado de Garmin Centro de Assistência, 2022 e Telemetry, 2022c	61

Lista de Equações

2.1	<i>Tobler's Hiking Function</i>	20
2.2	Distância Euclideana do Vetor Tridimensional	26
2.3	Equação da Velocidade	26
2.4	Fórmula para o cálculo da Velocidade	26
2.5	Fórmula para o cálculo do Declive	27

Lista de Código Fonte

3.1	Utilização da função LLDISTKM para cálculo da distância e velocidade média num percurso GPX, elaborado pelo autor.	32
4.1	Leitura da Matriz de Dados para MM e armazenamento numa matriz MM1 de dimensão 6, elaborado pelo autor.	44
C.1	Ficheiro Track 2D, fonte: Autor	69
D.1	Filtro para o Ficheiro Track 2D, fonte: Autor	73

Glossário

CINAV	Centro de Investigação Naval.
CMG	Capitão de Mar-e-Guerra.
CROCADILE	Conceptual Research Oriented Combat Agent Distillation.
DART-T	Desenvolvimento e Análise Robusta de Táticas - Terrestres.
DEXES	Deployable Exercise Support.
EINStein	Enhanced ISAAC Neural Simulation Tool.
IN	Inimigo.
IPB	Intelligence Preparation of the Battlefield.
ISAAC	Irreducible Semi-Autonomous Adaptive Combat.
MABS	Multiagent Based Simulators.
MANA	Map Aware Non-uniform Automata.
NATO	North Atlantic Treaty Organization.

Introdução

A introdução prepara o leitor para uma leitura organizada e uma melhor compreensão do trabalho científico que se está a apresentar. Deve por isso começar por apresentar, de forma breve, a problemática em que se insere o trabalho científico.

Sempre que for necessário fazer este enquadramento de forma detalhada e mais longa, deve apenas referir-se o assunto na introdução indicando que a apresentação mais detalhada será feita num dos primeiros capítulos (normalmente o primeiro).

Feita, contudo, esta apresentação do assunto, expondo a problemática subjacente ao mesmo, deve apresentar-se o problema, ou problemas, objeto do estudo efetuado, a que se segue uma explicação das vias seguidas na investigação e da forma como elas transparecem na estrutura adotada para a apresentação.

Seguem-se, se forem relevantes e necessárias, algumas explicações sobre a metodologia do trabalho, terminando com os objetivos que se pretende alcançar.

Sempre que for necessário, para uma melhor compreensão por parte do leitor, pode dividir-se a introdução em pequenos subcapítulos, indicando objetivos, vias seguidas na investigação, metodologias e resultados pretendidos.

Capítulo 1

Introdução

1.1 Pertinência do tema

Os últimos três anos têm sido marcados por acontecimentos calamitosos. Desde a situação pandémica, provocada pelo vírus SARS-CoV-2, incêndios devastadores na Amazónia e na Austrália, até à atual invasão militar da Ucrânia por parte da Rússia.

Todos estes acontecimentos, apesar das suas consequências catastróficas para a população mundial e para o mundo, serviram de alerta para os países, de um modo geral, na medida em que demonstraram que deve ser feito um maior investimento na preparação, no planeamento e na prevenção, para que seja possível dar uma resposta mais eficaz e eficiente a este tipo de situações.

O mundo militar já se encontra bastante familiarizado com as palavras-chave: preparação, planeamento e prevenção. Preparam-se militares para o pior cenário possível e desenvolvem-se planos de contingência em prol da antecipação em relação ao adversário. Nos dias de hoje, os organismos de defesa e as forças militares investem e recorrem aos sistemas tecnológicos para o estudo e análise de operações militares anteriores, compreensão e observação de comportamentos e desenvolvimento de competências (Bitesize, 2022).

Desse modo, torna-se importante refletir na logística inerente à organização de um exercício ou operação militar onde, considerando todo o envolvimento de custos associados à experimentação, transporte, consumo de munições, bem como o risco inerente de poder ocorrer um acidente. A simulação pode ter um papel extremamente preponderante no sentido de colmatar este problema.

Num estudo do Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Lisboa, elaborado por Ricardo Abreu, uma das grandes conclusões a que se chegou foi

que ferramentas como a simulação são extremamente importantes no desenvolvimento de competências, segundo a perspectiva dos estudantes (Abreu, 2019). Adicionalmente, numa tese de doutoramento elaborada por Sandra Cavaleiro, clarifica-se que a edificação do conceito de *Bridge Resource Management*, no contexto operacional da Marinha Portuguesa, no que diz respeito à utilização de simuladores, contribui para o desenvolvimento de competências, comunicação entre elementos de equipa e avaliação de desempenho e feedback (Cavaleiro, 2020).

1.2 Enquadramento Teórico

Por definição, um simulador consiste na utilização de computadores para imitar operações ou processos que acontecem no mundo real (Law, 2015).

No contexto militar, os simuladores podem ser utilizados não só em prol da formação e do treino, mas também como uma ferramenta de apoio para a tomada de decisão e desenvolvimento de táticas. Com a sua ajuda, é possível estudar diferentes cenários e planos, melhorar a doutrina¹, prever e determinar o equipamento necessário para uma missão e até mesmo explorar a combinação, o potencial e a utilização do armamento (Cioppa & Jackson, 2003).

Segundo Law, 2015, algumas vantagens da simulação são:

- Permitir estimar o desempenho e *performance* de um determinado sistema;
- Permitir manter um melhor controlo sob as condições experimentais, que só seria possível caso se experimentasse o sistema propriamente dito;
- Simular longos períodos num tempo reduzido;
- Ter uma boa relação custo-benefício na medida em que pode ser mais económico do que testar o sistema na realidade.

A simulação tem ainda outras vantagens como: evitar o perigo e a perda de vidas e a contenção do gasto em material e munições, bem como o desgaste dos próprios militares. As simulações podem ser aceleradas para facilitar o estudo de um determinado comportamento, e abrandadas para estudar esse comportamento com um maior detalhe (Bitesize, 2022).

Contudo, a simulação também tem desvantagens. De acordo com Law, 2015:

¹Princípios fundamentais pelos quais o forças militares conduzem as suas ações tendo em conta os seus objetivos (Standardization Office, 2019).

- Nalguns casos, pode consumir um elevado número de recursos, pode ser dispendiosa e demorar um longo período de tempo até ser desenvolvida;
- Depende da validade do modelo desenvolvido. Se o modelo não representar efetivamente o sistema e não houver uma compreensão profunda daquilo que se está a fazer, não adianta efetuar a recolha de dados e encontrar uma solução para o problema (Carvalho, 2014).

Law, 2015 refere que é útil classificar-se a simulação de acordo com três dimensões, nomeadamente: modelos estáticos vs. dinâmicos, modelos determinísticos vs. estocásticos e modelos contínuos vs. discretos.

Um modelo de simulação estática corresponde à representação de um sistema a um dado momento, ou quando o tempo não desempenha qualquer papel num sistema. Já o modelo dinâmico é uma representação de um sistema que vai evoluindo ao longo do tempo. Neste último, a passagem do tempo pode ser sob a forma de tempo real, ou de tempo simulado.

Enquanto um modelo determinístico consiste num modelo de simulação sem componentes probabilísticos, um modelo estocástico corresponde a um sistema que tem de ser modelado considerando valores de entrada aleatórios.

Por último, a diferença entre um modelo de simulação contínuo e um modelo de simulação discreto consiste no seguinte: o modelo de simulação contínuo baseia-se em equações diferenciais, com domínio contínuo, enquanto no modelo de simulação discreto, o sistema é modelado como uma série de eventos, ou seja, instantes no tempo em que ocorre uma mudança de estado no sistema (Robinson, 2014).

Segundo Robinson, 2014, a maneira mais simples de modelar o progresso do tempo é através de um *time-step*² (Δt) constante. No modelo de simulação discreto, a utilização de intervalos de tempo curtos permite a reprodução de modelos contínuos com elevada precisão.

Os Multiagent Based Simulators (MABS) são simuladores que tal como o nome indica, funcionam com agentes modelados. Esta é uma variação do modelo de simulação discreto (Law, 2015). Neste sentido, torna-se importante entender o conceito da simulação baseada em agentes e o conceito de agente propriamente dito.

No seu trabalho, Law, 2015 refere que não existe uma definição universal, ou aceite de um modo geral, de um agente ou de simulação baseada em agentes.

² *Time-step* designa o intervalo de tempo em que são realizados os cálculos para as simulações. No fundo consiste no período fixo de tempo pelo qual a simulação avança (MATLAB Simulink, 2022).

Com todo o material de leitura e condução de entrevistas, o autor define um agente como uma entidade autónoma, com atributos e regras básicas (regras *if/then*) que determinam os seus comportamentos, podendo inclusive estes últimos serem adaptados ao longo do tempo. Estes agentes podem interagir entre si e interagir com o ambiente em que estão inseridos. Este processo denomina-se simulação baseada em agentes, onde são simuladas as operações e interações simultâneas de vários agentes, com o objetivo de recriar e prever o aparecimento de fenómenos complexos.

A Figura 1.1 ilustra a representação do conceito de simulação baseada em agentes. As entidades do sistema são representadas de forma explícita e individualmente no modelo, sendo que os limites das entidades no sistema alvo correspondem ao limites dos agentes no modelo e as interações entre entidades correspondem às interações dos agentes no próprio modelo (Galán et al., 2009).

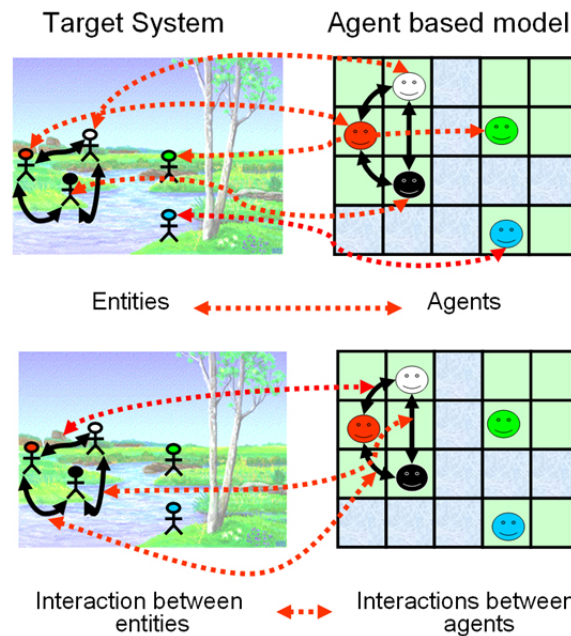


FIGURA 1.1: *Agent-Based Modelling*, retirado de Galán et al., 2009

O simulador Desenvolvimento e Análise Robusta de Táticas - Terrestres (DART-T) tem como propósito o desenvolvimento, análise e comparação de técnicas, táticas e procedimentos para obtenção dos resultados mais eficazes e eficientes, tendo em conta o cenário que for construído, dentro do espectro de operações que os Fuzileiros realizam (Orzhekhovskiy, 2020).

Esta ferramenta é alimentada através de um conjunto de modelos e processos, onde se consegue prever com elevada precisão a probabilidade de sucesso de

cada tática através dos resultados da média de agentes que ficaram vivos, duração da missão e precisão do tiro. O esquema representado através da Figura 1.2 ilustra precisamente o que foi explicado anteriormente.

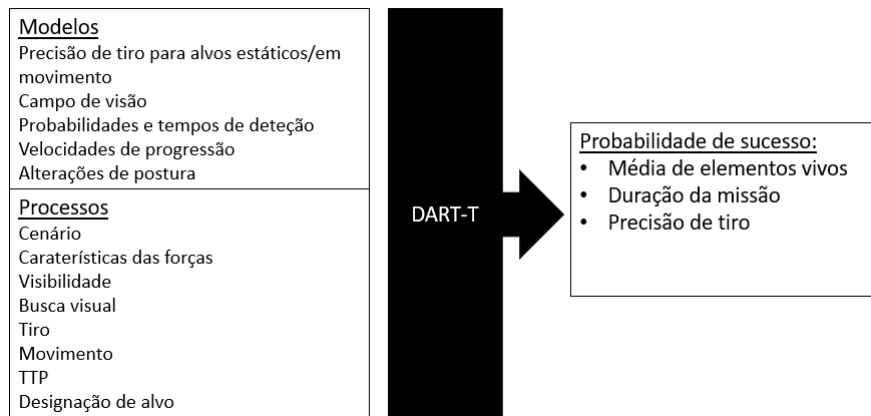


FIGURA 1.2: Objetivo do simulador DART-T, retirado de Orzhekhovskiy, 2020

No simulador DART-T existem dois tipos de agentes que são caracterizados por forças: Força Atacante (agentes amigos) e Força Defensora (agente inimigo). Na construção de um cenário a Força Atacante pode estar constituída por quatro agentes (escalão de equipa) ou oito agentes (escalão secção). Já o agente inimigo encontra-se numa posição fixa, correspondente à sua posição de origem.

A Figura 1.3 representa o menu principal (interface) do simulador DART-T. Aqui o utilizador constrói o seu cenário e personaliza algumas variáveis que definem as características dos agentes, tais como: coeficientes de treino, coeficientes de apoio, tipo de busca, etc.

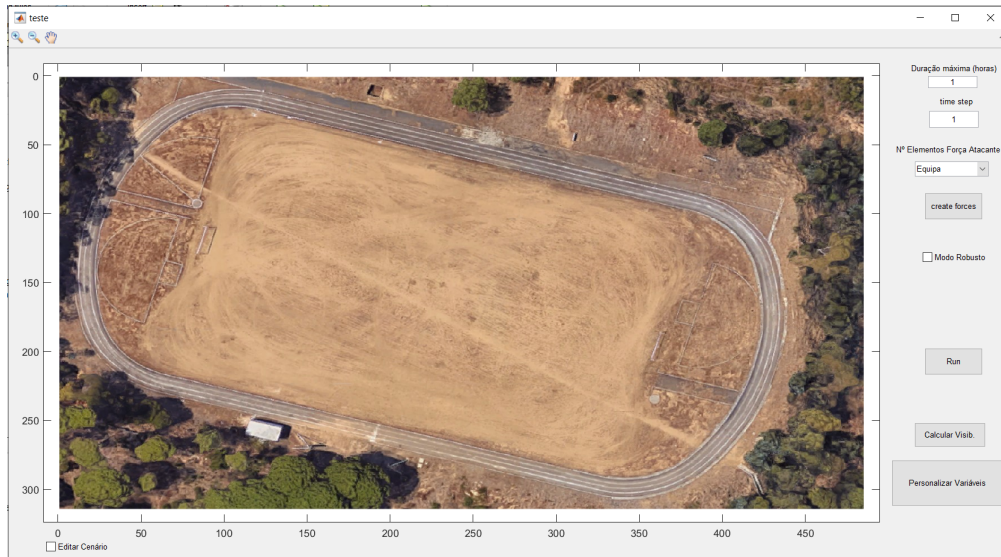


FIGURA 1.3: Interface do simulador DART-T, retirado de Orzhekhovskiy, 2020

Por último, o movimento dos agentes da força atacante é caracterizado pelo Método otimizado MM (Figura 1.4). O Método otimizado MM foi um algoritmo desenvolvido pelo CMG Maia Martins, onde apresenta uma resolução otimizada que ilustra o movimento dos agentes em terrenos com obstáculos.

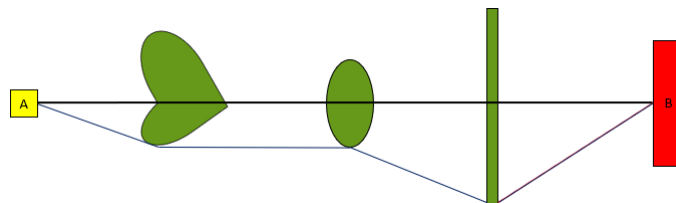


FIGURA 1.4: Método otimizado MM, retirado de Orzhekhovskiy, 2020

1.3 Objetivo

O pressuposto inicial de elaboração desta dissertação de mestrado assenta no desenvolvimento e melhoramento da ideia DART-T.

Esta ideia consiste na exploração de um simulador que tem vindo a ser desenvolvido nos últimos anos pela Escola Naval, inicialmente pelo Sr. Capitão de Mar-e-Guerra (CMG) M RES Maia Martins, seguido do Sr. Guarda Marinha Vladislavovich Orzhekhovskiy, do Sr. Guarda Marinha Rosado Jones e no presente momento pelo autor desta dissertação.

Esta ideia permite a criação de vários cenários e simulação das diferentes técnicas, táticas e procedimentos (TTP) utilizadas por uma equipa ou secção de Fuzileiros, “para que possa servir como uma ferramenta de auxílio para o desenvolvimento de novos procedimentos e análise e simulação de diferentes linhas de ação.” (Orzhekhovskiy, 2020).

Esta tese tem como objetivo a Criação, Alimentação e Implementação de uma Matriz de Progressão para o simulador, baseado nas características, componentes e valências dos Fuzileiros, tendo em conta a sua versatilidade, nomeadamente, os diferentes teatros de operações onde atuam e a tipologia de missões que executam. Pretende-se estudar a velocidade de progressão dos agentes em função de diversos fatores tais como: o tipo de terreno, declive, peso do equipamento transportado, etc.

1.4 Estrutura da dissertação

A dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos: Introdução, Modelação, Experimentação e Resultados, Implementação e Conclusão.

No primeiro capítulo, faz-se uma breve introdução ao tema, realça-se a sua pertinência e descreve-se o objetivo desta dissertação, abordando-se o conceito da simulação, as suas vantagens e desvantagens e uma análise de trabalhos congéneres.

No segundo capítulo, descrevem-se o processo de modelação, todo o processo de criação e desenvolvimento da Matriz Multidimensional.

O terceiro capítulo dedica-se à explicação do processo de análise e recolha de dados, bem como da experimentação e análise dos resultados.

No quarto capítulo, é demonstrada a implementação da Matriz Multidimensional no simulador, como é que os dados são providenciados pelo utilizador e obtidos por parte do simulador, com a aplicação prática num cenário construído pelo autor.

Por último, na Conclusão faz-se uma síntese e uma análise introspetiva do trabalho realizado, identificando as dificuldades sentidas ao longo da realização do mesmo e apresentando propostas para trabalhos futuros.

1.5 Estado da Arte

Para um melhor enquadramento do presente trabalho, torna-se importante reconhecer trabalhos anteriores que foram elaborados no mesmo âmbito.

1.5.1 SecurePort

O SecurePort é uma ferramenta desenvolvida em linguagem MATLAB pelo CMG M RES Maia Martins, de apoio à decisão militar de níveis estratégico, operacional e tático, baseado num simulador complexo de agentes (Martins, 2017).

Este simulador é alimentado a partir de informação geográfica e informação sobre as atividades de uma determinada zona portuária de interesse, onde é possível a antevisão da possibilidade de ataques terroristas realizados, quer à superfície através de embarcações, quer à subsuperfície através de mergulhadores (Martins, 2017).

Neste trabalho, é apresentada uma metodologia de apoio à decisão para a defesa portuária contra ataques terroristas, onde mediante os recursos e o dispositivo disponível, o utilizador consiga obter taticamente os melhores resultados possíveis.

Na Figura 1.5, está representado o resultado final de uma simulação no simulador SecurePort.

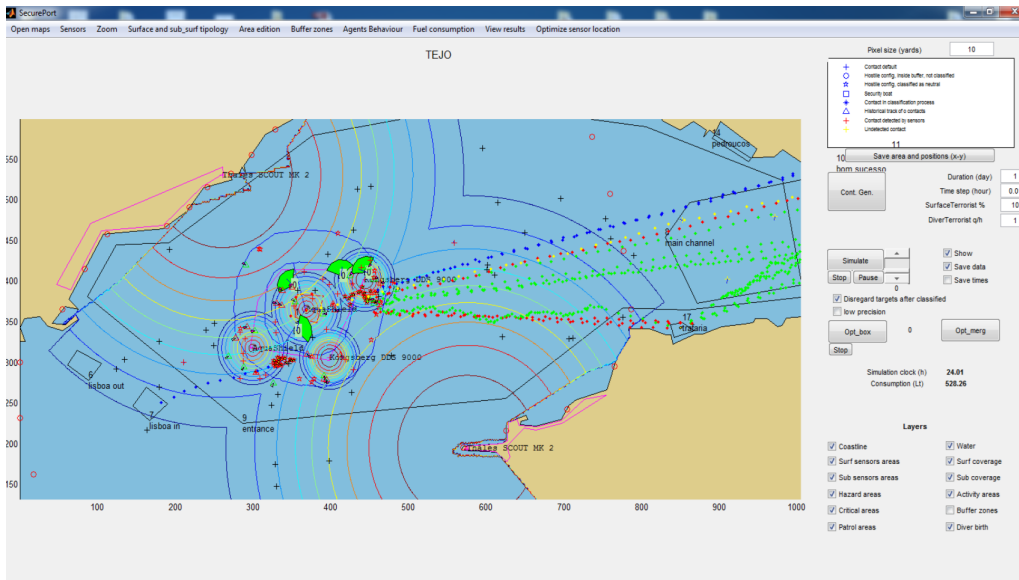


FIGURA 1.5: SecurePort: Resultado final de uma simulação, retirado de Martins, 2017

1.5.2 Archimedes

Archimedes Combat Modeling Platform é um simulador baseado em agentes, desenvolvido numa abordagem para análise de comportamentos em sistemas complexos. Este simulador foi criado no âmbito do *Project Albert*³, pelo *United States*

³O *Project Albert* surgiu no ano de 1995, e foi concebido principalmente para desenvolver novas ferramentas para capturar comportamentos emergentes em ambientes simulados, que ao

Marine Corps Combat Development Command, e teve como objetivos a representação de situações de combate intangíveis e captação de momentos de não-linearidade intrínsecos às situações de combate observadas nos campos de batalha. Estas situações de combate intangíveis incluem conceitos como disciplina, moral, personalidade e coesão (Leonardi & Horne, 2001).

De acordo com Reynolds e Dixon, 2001, *Archimedes* foi concebido inclusive para ser o mais flexível possível, a fim de representar uma grande variedade de missões, nomeadamente os desafios que na altura eram enfrentados pelo USMC, tais como Operações de Evacuação de Não-Combatentes, Operações de Contigência e Operações Militares em terreno urbano (Leonardi & Horne, 2001).

Uma das vantagens deste simulador é que o utilizador não precisa de ter conhecimento detalhado de uma determinada linguagem de programação para conseguir definir um comportamento de um agente (Leonardi & Horne, 2001). Neste sentido, a plataforma permite ao utilizador a criação de agentes e especificação dos seus comportamentos e capacidades, tanto para um agente que é Comandante de Pelotão, como para os seus agentes subordinados (Reynolds & Dixon, 2001).

1.5.3 CROCADILE

O Conceptual Research Oriented Combat Agent Distillation (CROCADILE) é um simulador escrito em linguagem Java, desenvolvido pela Academia das Forças Armadas da Austrália, para colmatar limitações dos sistemas da atualidade, que impedem a sua generalidade e aplicabilidade para representar certos aspetos dos conflitos modernos (Barlow & Easton, 2002).

Esta ferramenta não só permite a interação de agentes em ambiente 2D e 3D, como também consiste num modo de resolução de combate adaptado à trajetória balística dos projéteis, que incorpora efeitos de explosão, ritmos de fogo e linha de visão (Barlow & Easton, 2002).

O comportamento de cada agente é separado da sua capacidade, no sentido de que a capacidade do agente é definida pela sua arma individual, sensor, comunicação e objetos de movimento com os quais o agente está equipado. No simulador estão também bem definidos os paradigmas, a missão e as estruturas de comunicação para os agentes. O “mundo” é visto tanto pelos agentes como pelo próprio utilizador (Barlow & Easton, 2002).

longo do tempo, servirão para aprimorar certas táticas e melhorar a performance dos combatentes (Brandstein et al., 2000).

1.5.4 DEXES

O Deployable Exercise Support (DEXES) é um simulador, criado originalmente por Woodcock e Cobb no ano de 1996, concebido para apoiar exercícios de treino internacionais em operações de paz e de cariz humanitário para o Comando Sul dos Estados Unidos (USSOUTHCOM), antigamente situado no Panamá, estando atualmente localizado em Doral, Flórida (Christensson et al., 2004).

O DEXES consiste num modelo matemático, que fornece representações dinâmicas do comportamento da sociedade (englobando variáveis económicas, sociais, políticas e de saúde pública) e do impacto da interação dos agentes nesse comportamento (Illachinski, 2004), como se pode verificar na Figura 1.6.

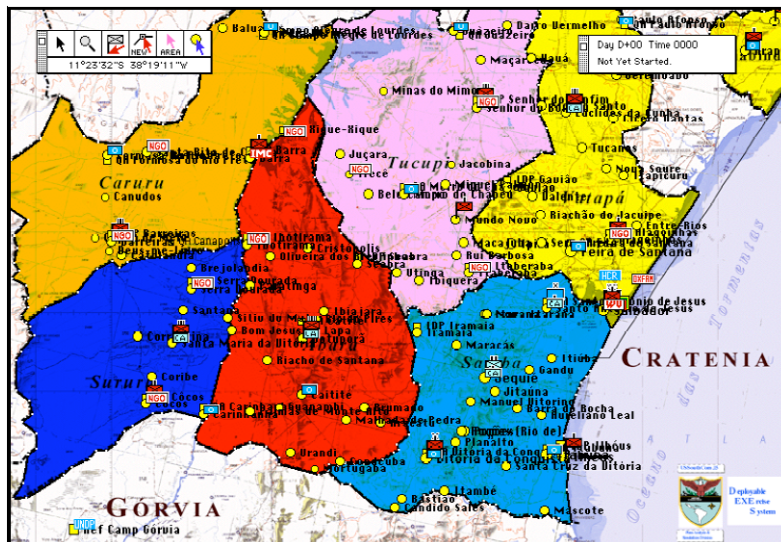


FIGURA 1.6: The Deployable Exercise Support (DEXES), retirado de Christensson et al., 2004

1.5.5 ISAAC

Em 1997, Andrew Illachinski, do *Center for Naval Analyses* dos Estados Unidos, criou um simulador baseado em agentes, denominado Irreducible Semi-Autonomous Adaptive Combat (ISAAC) (Illachinsky, 1997).

Este simulador teve como objetivo ilustrar certos aspetos do combate terrestre, no sentido de permitir ao utilizador a exploração dos padrões evolutivos do comportamento de unidades de grande escalão, que resultam das interações coletivas de agentes individuais (Illachinsky, 1997).

Na Figura 1.7, estão representados parâmetros tais como: as capacidades dos agentes (sensor e alcance de fogo) e personalidades⁴ dos agentes (Brandstein et al., 2000).

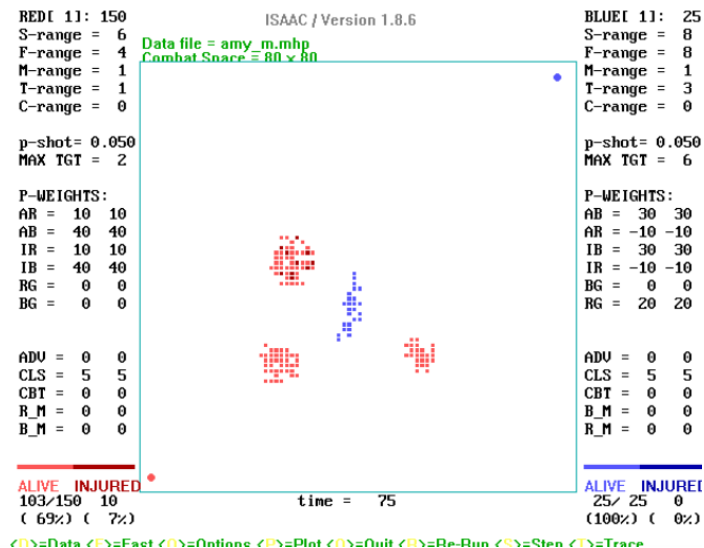


FIGURA 1.7: ISAAC, retirado de Brandstein et al., 2000

1.5.6 EINSTEIN

Enhanced ISAAC Neural Simulation Tool (EINSTEIN), tal como o nome indica, é um simulador que deu continuidade ao simulador ISAAC, anteriormente criado por Andrew Illachinski (Ilachinski, 2009).

Esta ferramenta foi desenvolvida em linguagem C++, consistindo numa das primeiras tentativas de representação de combate de pequena a média escala. Uma das principais diferenças entre o EINSTEIN e o ISAAC é que o primeiro utiliza os agentes para modelar os comportamentos individuais e as personalidades, em vez de armas específicas (Ilachinski, 2009).

Por outro lado, os agentes têm a capacidade de responder a um grande número de condições em mudança à medida que vão evoluindo ao longo do cenário (Ilachinski, 2009).

O conceito deste simulador acenta em dois pilares: simplicidade e consistência. Segundo o autor, o primeiro pilar é referente ao físico alemão, Albert Einstein, com uma das suas frases mundialmente conhecidas: “*Things should be as simple as possible, but not simpler*”, ou seja, manter as regras e os componentes do simulador

⁴Traços humanos, forma como se deslocam e selecionam estratégias. Ex: capacidade de se moverem em direção aos agentes amigos e afastarem-se dos agentes inimigos (Law, 2015).

tão simples quanto possível. O segundo pilar consiste em tratar todo o tipo de informação (incluindo a forma como é processada pelos agentes) de forma consistente (Ilachinski, 2009).

1.5.7 MANA

O acrónimo para Map Aware Non-uniform Automata (MANA) é um simulador baseado em agentes modelados, originalmente desenvolvido pela Agência de Tecnologia de Defesa, do Exército Neozelandês. Teve como base os modelos utilizados nos simuladores ISAAC e EINSTEIN, apesar de ter sido desenvolvido independentemente e de não partilhar nenhum código fonte com os mesmos (Ilachinski, 2004).

A interface do simulador MANA possibilita a construção de cenários ao utilizador e permite a criação de um conjunto diversificado de agentes, pelo facto de ser uma ferramenta flexível e fácil de utilizar. MANA é um simulador robusto, através do qual os agentes conseguem interagir uns com os outros e com o terreno envolvente. Estes agentes constroem as suas percepções através de sistemas de comunicação, sensores ou através da rede. Adicionalmente, as entidades no MANA conseguem memorizar o campo de batalha e os seus comportamentos podem ser programados para mudar em função de uma variedade de eventos dentro do cenário estipulado (Cioppa et al., 2004).

Foi utilizado como elemento de validação em muitos casos, como por exemplo, no estudo do potencial de utilização de modelos baseados em agentes, para apoiar a tomada de decisões logísticas num ambiente urbano, em operações de carácter humanitário, de paz e auxílio a catástrofes, para o USMC (Wolf, 2003).

A imagem que se segue representa o cenário base de uma simulação no MANA, referente ao exemplo dado anteriormente. Os agentes a azul representam uma rede de abastecimento, incluindo um elemento de segurança do USMC. A amarelo, estão representados os agentes neutros, aqueles que precisam de ajuda. Por último, a vermelho, está representado o agente inimigo, que foi introduzido no sentido de criar a possibilidade de esta linha de abastecimento poder ser comprometida (Wolf, 2003).



FIGURA 1.8: Cenário base para a linha de abastecimento representada no simulador MANA, retirado de Wolf, 2003

1.5.8 JANUS

Em 1981, um grupo de Oficiais do Exército dos Estados Unidos foi chamado ao Laboratório Nacional Lawrence Livermore para participar numa série de *wargames* nucleares, completamente diferentes em relação aos anos anteriores. Aqui, este grupo teve a oportunidade de experimentar na primeira pessoa, o primeiro simulador de combate em tempo real, interativo para jogadores - JANUS (Laboratory, 2022).

Em 1983, o Laboratório transferiu esta versão inicial de Janus para o Exército, tendo sido aperfeiçoada e melhorada ao longo dos anos oitenta. Em 1989, o Exército Americano utilizou o JANUS como instrumento de planeamento operacional, antes de desencadear a Operação *Just Cause*, nome de código para a invasão do Panamá pelos Estados Unidos (Laboratory, 2022).

Este simulador foi também utilizado um ano mais tarde para o planeamento da Operação Desert Storm e foi oficialmente entregue ao Exército Americano no ano de 1991 (Laboratory, 2022).

JANUS foi escrito em linguagem FORTRAN, e foi concebido para a implementação de sistemas com agentes múltiplos, para o Exército dos Estados Unidos. É um simulador “interativo”, na medida em que as funções de comando e controlo são introduzidas manualmente pelos utilizadores, neste caso os militares, que decidem o que fazer em situações cruciais durante o combate simulado (Shing et al., 1999).

JANUS é uma plataforma com capacidade de simulação de combate em alta resolução entre dois adversários, apresentando gráficos a cores precisos (Shing et al., 1999).

1.5.9 *Socrates*

Socrates é um simulador baseado em agentes, originalmente desenvolvido pela Steven Myers & Associates, com o apoio do USMC no âmbito do *Project Albert* (Ilachinski, 2004).

Socrates é um simulador bastante semelhante ao EINSTEIN, no que diz respeito ao design, âmbito e capacidade. Todavia, no *Socrates* é implementado um paradigma de agente atrator/repulsor, num ambiente em 2D e um modelo físico de armas baseado em probabilidades equivalentes (Ilachinski, 2004). Na altura, este simulador era o que apresentava um melhor conjunto de capacidades e de comportamentos dos agentes (Barlow & Easton, 2002).

1.5.10 THOR

THOR é um simulador originalmente criado por Kristina Landers em 1996, no âmbito da sua Tese de Doutoramento, realizada na Universidade de George Mason, em Fairfax, Virgínia, nos Estados Unidos, com a colaboração da Swedish Defence Materiel Administration (Olanders, 1996).

Este simulador inclui uma estrutura de comando e controlo organizada hierarquicamente, onde as entidades têm a capacidade de avaliar a sua situação, iniciar e coordenar movimentos e de entrar em combate (Ilachinski, 2004).

Capítulo 2

Modelação

Neste capítulo serão abordados o processo de criação do Modelo de Progressão, bem como todo o processo de delineamento, criação e construção da Matriz Multidimensional. Para tal, é importante introduzir o conceito de modelo.

Como foi referido no capítulo anterior, um modelo de simulação corresponde à representação de um sistema (instalação ou processo de interesse). De acordo com Law, 2015, ao estudar-se cientificamente um sistema, podem fazer-se suposições que, quando assumem a forma de relações matemáticas ou lógicas, constituem um modelo. Este modelo é então utilizado para tentar compreender a forma como o sistema correspondente se comporta.

Segundo Jones, 2020, para o simulador DART-T, um dos aspetos mais importantes a ser modelado é o movimento dos agentes. Nesta dissertação, irá estudar-se o comportamento destes agentes, aquando da sua progressão, nomeadamente a velocidade com que progridem face a diversos fatores.

Para tal foi colocada a seguinte questão: Quais são as dimensões que influenciam a velocidade de progressão dos agentes?

No próximo subcapítulo, será abordado o processo que originou a construção da Matriz de Progressão dos Agentes, com a definição das dimensões e valores que a constituem, partindo da análise de entrevistas e do estudo bibliográfico.

2.1 Matriz de Dados

A Matriz de Progressão foi delineada de acordo com a doutrina North Atlantic Treaty Organization (NATO), prevendo as inúmeras dimensões suscetíveis de serem utilizadas pelas diferentes unidades do Corpo de Fuzileiros. Foi utilizado como referência o conceito de Intelligence Preparation of the Battlefield (IPB) que, tal

como o nome indica, consiste num processo sistemático e contínuo de análise da ameaça e do ambiente, numa área geográfica específica, com a finalidade de apoiar o processo de tomada de decisão.

Foram igualmente realizadas duas entrevistas a Oficiais Fuzileiros com elevada experiência, no sentido de corroborarem o modelo, nomeadamente o Sr. Comandante Almeida Gabriel e o Sr. Tenente Borges Rodrigues (Apêndice B), tendo o modelo final resultado da conjugação dos métodos, doutrinário e entrevista.

Assim, a Matriz de Progressão apresenta seis dimensões, nomeadamente:

1. Tipo de terreno
2. Peso do equipamento transportado
3. Declive do terreno
4. Postura
5. Modo de Progressão
6. Fator luminosidade

2.1.1 Tipo de terreno

Consideraram-se nesta dimensão, os tipos de terreno onde os Fuzileiros efetivamente operam, tendo em conta as suas características e valências como Força Especial da Marinha Portuguesa, a saber:

1. **Areia** (praia, areia fina)
2. **Estrada** (asfalto)
3. **Picada** (caminho rural; piso de terra firme)
4. **Terreno arborizado** (mato)

2.1.2 Peso do equipamento transportado

A dimensão “Peso do equipamento transportado”, baseia-se nos módulos atualmente utilizados pelo Corpo de Fuzileiros, estando diretamente relacionados com a duração da sua missão. De acordo com o Manual de Tática Terrestre I (Fuzileiros, 2009), o equipamento de combate divide-se em três módulos:

1. **Módulo de Assalto** (peso aproximado de 30 kg): equipamento necessário para cumprir uma missão de combate e para a sobrevivência do militar (durante 24 horas);
2. **Módulo de Combate** (peso aproximado de 40 kg): equipamento necessário para cumprir uma missão até 48 horas;
3. **Módulo de Marcha** (peso aproximado de 50 kg): equipamento imprescindível para um militar garantir o cumprimento de uma missão e a sua autossustentação por um período superior a 48 horas;

De referir que os pesos descritos acima, atribuídos a cada um dos módulos, foram objeto de estudo que constam na dissertação de mestrado de Jones, 2020, que obteve os valores acima referidos.

2.1.3 Declive do terreno

No que toca à dimensão “Declive do terreno”, medida em percentagem, foram considerados os seguintes valores:

1. **Declive $> 10\%$**
2. **$0\% < \text{Declive} < 10\%$**
3. **$-10\% < \text{Declive} < 0\%$**
4. **Declive $< -10\%$**

A escolha dos intervalos⁵ para esta dimensão foi baseada numa série de considerações. Segundo a doutrina NATO, tal como é ilustrado na Figura 2.1, são considerados valores para o declive tendo em conta o tipo de terreno para forças mecanizadas e blindadas, afirmando que não há quaisquer restrições ao nível do terreno para declives inferiores a 30%.

⁵A escolha dos intervalos para a dimensão declive irá ser abordada mais adiante, uma vez que a sua escolha tem impacto direto nos resultados obtidos, bem como na implementação da Matriz de Progressão.

Table B-2. Terrain types for mechanized or armored forces

Terrain type	Slope (%)	Streams			Vegetation			Typical seeds (unopposed) (km/hour)
		Depth (feet)	Current (feet/sec)	Width (feet)	Spacing (feet)	Trunk diameter (inches)	Roads/ Trails (per km)	
Unrestricted	< 30	< 2	-----	< 5	> 20	< 2	2/4	24
Restricted	30 to 45	2 to 4	< 5	< AVLB length	< 20	2 to 6	1/2	16 (8 at night)
Severely restricted	> 45	> 4	> 5	> AVLB length	< 20	> 6	0/< 2	1 (.4 at night)
AVLB km	armored vehicle-launched bridge			sec	second			
	kilometer							

FIGURA 2.1: Tabela de variação do declive consoante o terreno para forças blindadas e mecanizadas, retirado de Headquarters, 2019

Todavia, no caso do pessoal apeado, tal como consta no Apêndice B, não existem valores para esta dimensão.

Sendo assim, os intervalos considerados para a dimensão “declive” tiveram em conta diversas experiências realizadas pelo autor, tendo sido comparados com a *Tobler’s Hiking Function* (Tobler, 1993), cujo processo será abordado com mais pormenor no próximo capítulo.

Resumidamente, a Fórmula de Tobler, representada na Equação 2.1, determina a velocidade de progressão (em marcha), tendo em conta a variação do declive, tal como ilustra a Figura 2.2(Tobler, 1993).

$$W = 6e^{-3.5\left|\frac{dh}{dx} + 0.05\right|} \quad (2.1)$$

$$\frac{dh}{dx} = S = \tan \theta,$$

onde: W = velocidade de marcha (km/h), dh = diferença de elevação, dx = distância, S = declive, θ = ângulo de inclinação.

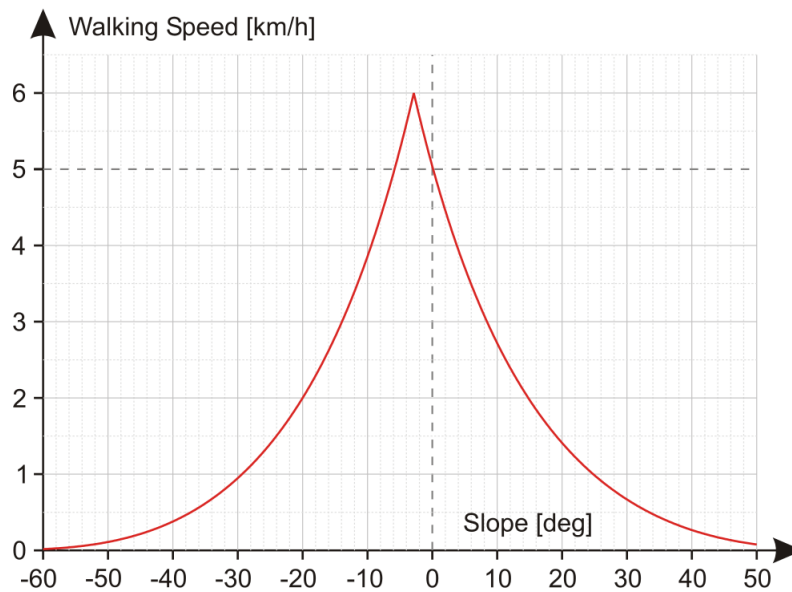


FIGURA 2.2: *Tobler's Hiking Function*, retirado de Tobler, 1993

2.1.4 Postura

Esta dimensão foi criada para identificar qual a postura em que o agente se encontra: de pé, joelhos ou deitado.

2.1.5 Modo de Progressão

Para a dimensão “Modo de Progressão”, utilizou-se o conceito de medidas ativas de defesa que, de acordo com o Manual de Tática Terrestre I (Fuzileiros, 2009), são as medidas que são tomadas em contacto direto com o Inimigo (IN). Uma delas é a Probabilidade de Contacto com o IN que difere não só no deslocamento do militar (progressão), como também na maneira como a arma é transportada. Seguem-se os diferentes tipos de contacto:

- **Contacto improvável:** Utilizado em situações fora da zona de combate, nomeadamente situações administrativas, onde o risco de haver contacto com o IN é muito reduzido.
 - Posição da arma: Arma apoiada num dos antebraços, com o braço fletido, mão a segurar o punho e o cano virado transversalmente para cima, ou a tiracolo.
- **Contacto remoto:** Situação tática semelhante ao contacto improvável onde o risco de haver contacto com o IN é muito reduzido.

- Posição da arma: A mão forte (direita ou esquerda) segura a arma pelo punho, ficando o dedo indicador por cima do guarda mato. A coronha deve assentar bem no ombro da mão forte (direito ou esquerdo) enquanto a mão livre segura a arma pelo guarda mão. Os braços devem estar ligeiramente estendidos e o cano da arma virado transversalmente para baixo.
- **Contacto provável:** Situação tática aplicada em zonas de combate, onde se deve ter especial atenção ao IN, que pode surgir a qualquer momento e em qualquer local. Nesta situação, deve reduzir-se a velocidade do deslocamento e aumentar a segurança, intensificando a observação e a audição.
 - Posição da arma: Semelhante à situação tática de contacto remoto, no entanto o cano da arma encontra-se virado transversalmente para baixo com um ângulo de 45°.
- **Contacto iminente:** Aplica-se em locais com elevada probabilidade de contacto com o IN, nomeadamente em aproximações ao objetivo, travessia de zonas perigosas, entre outras. Nesta situação, a marcha deverá ser mais silenciosa, dando-se especial atenção à segurança, ao silêncio, observação e camuflagem.
 - Posição da arma: Semelhante à situação tática de contacto provável com o cano da arma na horizontal (arma a apontar para a frente).
- **Contacto efetivo:** situação que acontece quando se está sob fogo do IN ou sua ameaça direta. O deslocamento deverá ser rápido e agressivo através do fogo e movimento.
 - Posição da arma: Igual ao contacto iminente com a diferença de ser possível a colocação do dedo no gatilho para efetuar fogo.
- **Posição de transporte:** Arma em posição de transporte é utilizada quando o combatente precisa de se deslocar de uma posição para outra em passo de corrida. Deve fazê-lo garantindo sempre a sua própria segurança, evitando ser atingido por disparos acidentais.
 - Posição da arma: Nesta posição a arma deverá ir na oblíqua à frente do corpo com o cano voltado para cima.

Os valores considerados para a Matriz Multidimensional foram, respetivamente: contacto improvável, contacto remoto, contacto provável, contacto iminente, contacto efetivo e posição de transporte.

2.1.6 Fator Luminosidade

Relativamente a esta dimensão consideraram-se dois valores para introdução no simulador, nomeadamente a possibilidade de cada um dos cenários ser realizado no período diurno e no período noturno, correspondendo respetivamente aos valores Dia e Noite. A velocidade média de uma marcha apeada varia da noite para o dia, por exemplo, num deslocamento de 6 horas, de noite, são executados entre 15 a 18 quilómetros, de dia, entre 20 e 24 quilómetros (Folhas, 2012).

De acordo com as dimensões e valores definidos nos sub-subcapítulos anteriores, segue-se a tabela da Matriz Multidimensional (Tabela 2.1).

TABELA 2.1: Matriz Multidimensional

M(a,b,c,d,e,f)			
Indice	Dimensão	Campo	Valor
a	Tipo de Terreno	id_terreno	Areia (1) Estrada (2) Picada (3) Terreno Arborizado (4)
b	Peso do Equipamento	id_equipamento	Módulo de Assalto (1) Módulo de Combate (2) Módulo de Marcha (3)
c	Declive do terreno	id_dec	>10% (1) 0-10% (2) -10% - 0% (3) <-10% (4)
d	Postura	id_postura	pé (1) joelhos (2) deitado (3)
e	Modo de Progressão	id_progressao	Contacto improvável (1) Contacto remoto (2) Contacto provável (3) Contacto iminente (4) Contacto efetivo (5) Posição de transporte (6)
f	Fator Luminosidade	id_fatorluminosidade	Dia (1) Noite (2)

Fonte: Autor

2.2 Análise de percursos - Ficheiro Track 2D

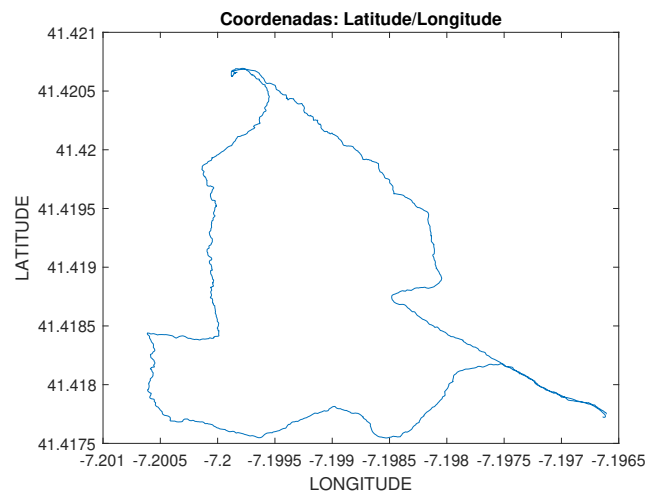
O ficheiro **Track 2D** (Apêndice C), da autoria do autor, foi um ficheiro criado com o objetivo de analisar os dados de um determinado percurso, recolhidos através dos equipamentos utilizados, nomeadamente das câmaras GoPro e dos relógios Garmin.

Conforme o Apêndice A, tendo em conta o formato de exportação das câmaras GoPro e dos relógios Garmin, todos os dados recolhidos são convertidos em formato GPX e são enviados para este ficheiro MATLAB criado pelo autor.

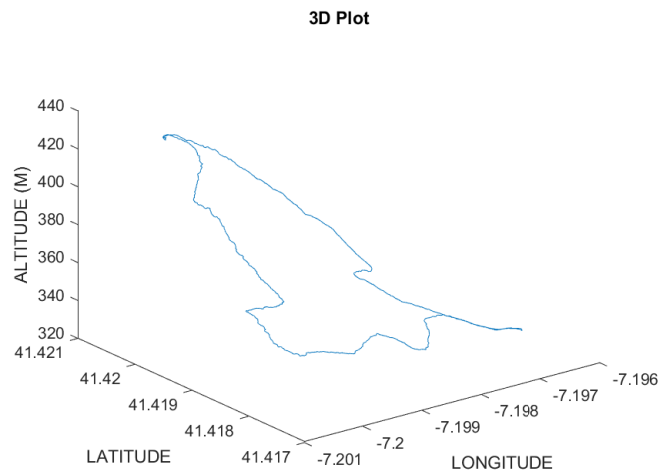
Cada percurso GPX efetua o registo do percurso, nomeadamente de quatro dados: Latitude, Longitude, Elevação e Tempo (segundo a segundo ou outro conforme a configuração do equipamento).

O ficheiro **Track 2D** começa então por ler um determinado percurso em formato GPX, retornando-o num *geopoint vector* de dimensão N-por-1, onde N corresponde ao número total de pontos registados no percurso.

Neste ficheiro, é possível a visualização de cada percurso em 2D (Latitude, Longitude) e em 3D (Latitude, Longitude e Elevação), tal como ilustra a Figura 2.3.



(A) Plot 2D - Coordenadas (Latitude/Longitude)



(B) Plot 3D - Latitude, Longitude, Elevação

FIGURA 2.3: Visualização de um percurso GPX em duas e três dimensões no ficheiro Track 2D.

Fonte: Autor

2.2.1 Cálculo da distância entre dois pontos GPS

Antes de mencionar qual a fórmula utilizada para o cálculo da distância entre dois pontos GPS, é importante referir os passos que levaram à escolha dessa fórmula.

Inicialmente, foi usada uma função da autoria de M. Sohrabinia (Central, 2012), baseada no cálculo da distância entre dois pontos com base nas coordenadas geográficas (latitude e longitude). Todavia, esta fórmula considera apenas a distância entre pontos GPS à altura do nível médio das águas do mar, ou seja, não considera para efeitos de cálculo o eixo das cotas (eixo do z).

Tal como será explicado no próximo capítulo, tendo em conta a programação dos equipamentos e o tempo que cada um dos métodos demorava a executar, usou-se a Distância Euclideana do vetor tridimensional para efetuar o cálculo da distância e velocidade média num percurso em formato GPX:

$$distância = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2} \quad (2.2)$$

A equação acima apresentada (2.2) representa a forma como foi efetuado o cálculo da distância num percurso em formato GPX, onde cada incógnita tem o seu significado:

- Δx representa a diferença das Longitudes;
- Δy representa a diferença das Latitudes;
- Δz representa a diferença das Altitudes.

No Apêndice C é possível visualizar com maior detalhe todo o código inerente ao processo de cálculo da distância e velocidade num percurso em formato GPX.

Posteriormente, obtida a distância percorrida em cada instante, efetuou-se o cálculo da distância total percorrida, da velocidade em cada instante, velocidade média do percurso e do declive em cada segundo.

Sendo que cada instante corresponde a um segundo, devido à programação dos relógios, a distância total percorrida obtém-se através da soma de todas as distâncias consecutivas.

No que diz respeito à velocidade, teve-se como base a seguinte equação:

$$velocidade_i = v_0 + a_i \cdot t \quad (2.3)$$

em que t é o intervalo de tempo entre $i-1$ e i .

O cálculo da velocidade é dado por:

$$v = \frac{\Delta S}{t} \quad (2.4)$$

Esta equação (2.4) representa o cálculo da velocidade onde o numerador corresponde à norma do vetor de deslocamento, e o t corresponde ao intervalo de tempo.

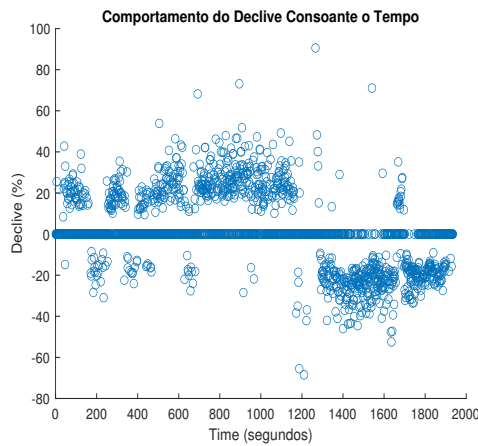
Sendo o intervalo de tempo um segundo, obteve-se a velocidade a cada instante (um segundo) e a velocidade média do percurso (em m/s).

Relativamente ao declive, este tem um valor percentual e é obtido a partir do Δz , cujo significado já fora mencionado anteriormente, sendo a equação dada por:

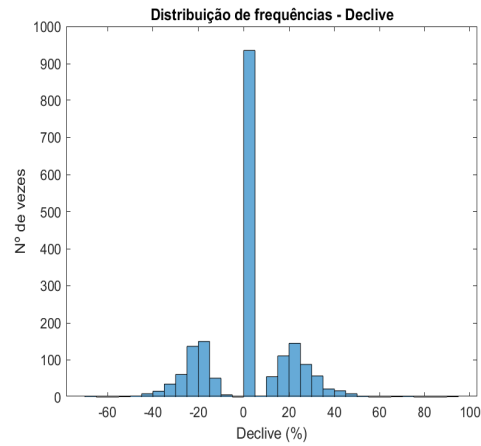
$$declive = \frac{\Delta z}{distância} \times 100 \quad (2.5)$$

Por último, o ficheiro **Track 2D** apresenta também a forma como o declive se comporta perante o tempo, a distribuição de frequências para o declive e para a velocidade, representadas em histogramas, e ainda um diagrama de dispersão, que ilustra o comportamento da velocidade consoante o declive, num determinado percurso GPX.

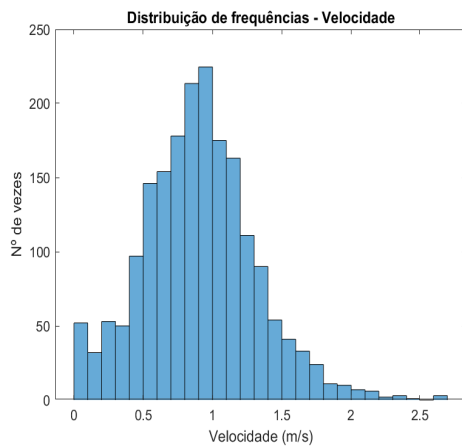
Tendo como base um percurso efetuado pelo autor, no dia 27 de março de 2022, foi possível construir as figuras que se seguem, onde se podem verificar os aspetos mencionados no parágrafo anterior.



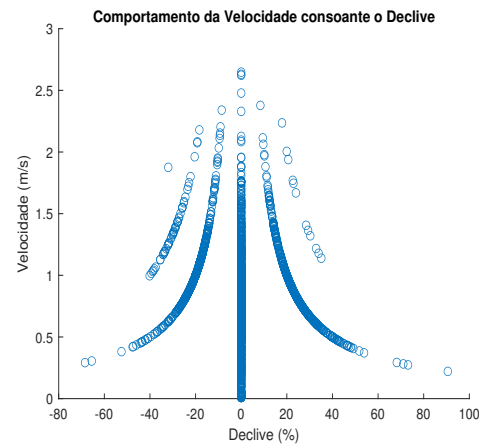
(A) Diagrama de Dispersão: Comportamento do Declive Consoante o tempo.



(B) Distribuição de Frequências: Declive.



(C) Distribuição de Frequências: Velocidade.



(D) Diagrama de Dispersão: Comportamento da Velocidade consoante o Declive.

FIGURA 2.4: Gráficos obtidos pelo Ficheiro **Track 2D**.

Fonte: Autor

Os diagramas de dispersão acima representados são constituídos pelos dados brutos relativos ao percurso realizado no dia 27 de março.

No próximo capítulo será abordado todo o processo de análise e tratamento de dados, nomeadamente a criação de um filtro para o ficheiro **Track 2D** para colmatar a discrepância existente no que diz respeito aos valores do declive e a alta frequência e simetria bipolarizada em torno do zero, nos histogramas.

Capítulo 3

Experimentação e Resultados

3.1 Processo de escolha dos Equipamentos para Recolha de Dados

Como consta no Apêndice A, durante algumas experiências teste para recolha de dados foram utilizados dois tipos de equipamentos: 2 câmaras GoPro e 3 relógios garmin. Estes equipamentos foram facultados pelo Centro de Investigação Naval (CINAV).

Numa das experiências feitas com a GoPro, verificou-se que a gravação e registo de eventos com alta qualidade de vídeo consome muita bateria, pelo que se tentou ajustar as definições da câmara de modo que conseguisse permitir a gravação contínua de uma atividade com duração de pelo menos meia hora.

Neste sentido, os equipamentos foram programados de acordo com a seguinte Tabela 3.1:

TABELA 3.1: Programação dos equipamentos

Garmin Forerunner 245	GoPro HERO9 Black
Atividade (Corrida, voltas automáticas (desativadas))	Modo (Vídeo)
GPS + GALILEO	Regional - GPS (Ligado)
Every Second Recording	Preset: Standard (1080p, 60fps, Lente (linear), Duração (sem limite) , HyperSmooth (OFF), HindSight (OFF))
Monitorização de Frequência cardíaca (desativada)	Wireless Conections (OFF)

Fonte: Autor

Fez-se uma experiência de gravação de um percurso de 1,5km com duração de meia hora, com um relógio Garmin e a câmara GoPro a gravar em 1080p/60 fps e verificou-se que após ter terminado o percurso, a câmara ainda tinha cerca de 70% da sua bateria total.

No entanto, no momento de análise dos dados deste percurso em formato GPX, constatou-se que havia um pequeno problema relacionado com as definições de origem de fabrico da câmara GoPro. Para qualquer ficheiro vídeo que ultrapasse os 3GB, a câmara efetua o chamado *File Chaptering*, ou seja, divide o vídeo em vários ficheiros (GoPro Support, 2022a). No caso concreto, no percurso de meia hora, o vídeo foi dividido em 3 ficheiros.

Após alguma pesquisa, o processo de *File Chaptering* feito pela própria GoPro conseguia ser colmatado pela utilização da versão premium de uma aplicação intitulada de Telemetry Extractor Premium da GoPro, aplicação esta que permite a junção e extração de vários ficheiros LRV (onde estão guardados os dados GPS na GoPro) de uma só vez. A versão gratuita apenas permite a extração de um ficheiro de cada vez e não permite a junção de vários ficheiros correspondentes à totalidade de um percurso (Telemetry, 2022b).

A Figura 3.1 ilustra um conjunto de experiências que foram realizadas pelo autor com estes equipamentos. Os dados dos percursos efetuados foram carregados em formato GPX, no Google Earth para efeitos de comparação de precisão de GPS para os 2 equipamentos. Chegou-se à conclusão que o GPS do relógio é muito mais preciso do que o da câmara GoPro, tal como é ilustrado pela Figura 3.1.

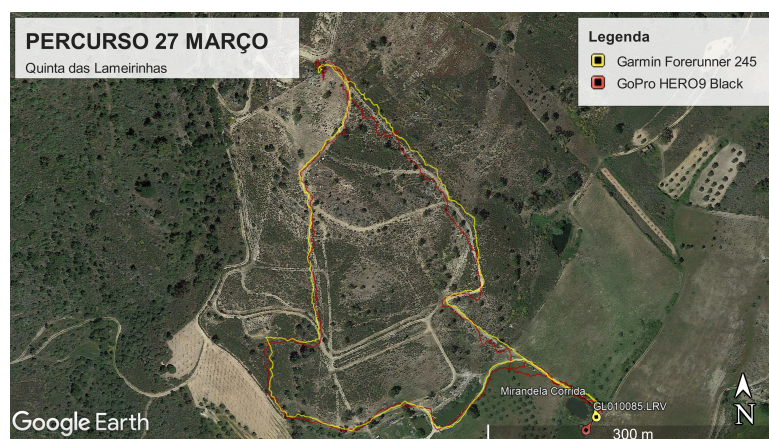


FIGURA 3.1: Comparação da precisão GPS dos equipamentos.
Fonte: Autor

Em virtude do tratamento de dados GPS para a GoPro ser manifestamente

mais complexo devido ao processo de *File Chaptering*, da imprecisão de registo de dados face ao relógio Garmin e da resolução do problema implicar a aquisição de uma versão da aplicação paga, optou-se por recolher dados para o simulador única e exclusivamente com relógios Garmin Forerunner 245.

A escolha do Relógio Garmin revelou-se mais eficaz para a recolha de dados, uma vez que permite um processamento e tratamento mais simples, fidedigno e eficiente.

3.2 Escolha do método para efetuar o cálculo da distância e velocidade média num percurso GPX

No que diz respeito ao cálculo da distância e velocidade média num percurso GPX, foram utilizados dois métodos. O primeiro método baseou-se na função *LatLon distance* e o segundo método basou-se na utilização do conceito da Distância Euclideana do Vetor Tridimensional. Consequentemente, foi feita uma comparação entre os dois métodos de forma a escolher o melhor para ser aplicado no tratamento dos dados.

Inicialmente, adaptou-se a função *LatLon distance* para efetuar o cálculo da distância e da velocidade média num percurso em formato GPX, e à maneira como se programou o relógio Garmin. Tendo em conta que o relógio foi programado para recolher dados de segundo a segundo, o autor elaborou o seguinte código para obtenção do resultado:

```

%% UTILIZAÇÃO DA FUNÇÃO LLDISTKM PARA CÁLCULO DAS DISTANCIAS
    ENTRE DOIS PONTOS GPS
route = gpxread('Patrulha_Quinta_das_Lameirinhas_relogio_mochila
    .gpx');
A=[route.Latitude;route.Longitude]; % definição da matriz A(
    Latitude,Longitude)
A=A'; % a função lldistkm só corre para a matriz transposta de A
tempo=length(A); % definiu-se a variavel tempo que corresponde
    length da matriz de A, uma vez
% que os pontos GPS são recolhidos de segundo a segundo pelo Rel
    ógio Garmin
tic

for i=1:length(A)
    if i+1<length(A)
        [d1haver(i,:) d2pit(i,:)]=distgpx([A(i,1) A(i,2)],[A(i
            +1,1) A(i+1,2)]);
        end
    end

% d1km=d1km*1000; %conversão da distância em km para metros
% d2km=d2km*1000; %conversão da distância em km para metros
sum(d1haver)
sum(d2pit)
velocidade=sum(d1haver)/tempo %cálculo da velocidade em m/s
velocidade__pit=sum(d2pit)/tempo

toc

```

CÓDIGO FONTE 3.1: Utilização da função LLDISTKM para cálculo da distância e velocidade média num percurso GPX, elaborado pelo autor.

O segundo método tem como base a fórmula da Distância Euclideana do Vetor Tridimensional, contida no Ficheiro **Track 2D** (Apêndice C), que já foi descrita no capítulo anterior.

Posto isto, considerou-se um percurso realizado pelo autor no dia 27 de março de 2022, e efetuaram-se dez medições do tempo que cada método demorava a calcular a distância e a velocidade, obtendo-se uma média generalizada.

TABELA 3.2: Comparação dos dois métodos: LLDISTKM e Distância Euclideana do Vetor Tridimensional

	LLDISTKM	Dist. Euclideana
Distância total (m)	729.2837	851.2746
Velocidade (m/s)	0,7442	0.8686
TIMER (s)	0,029925000	0,0013089

Fonte: Autor

Conforme a Tabela 3.2, é possível aferir duas conclusões:

- O método da Distância Euclideana do Vetor Tridimensional é o método mais eficiente uma vez que efetua o cálculo da distância e da velocidade aproximadamente **23 vezes mais rápido** que a função LLDISTKM;
- Por outro lado, no que diz respeito ao cálculo da Distância, reparou-se que a função LLDISTKM considera cada posição GPS referente ao raio da Terra, estando sempre à altura do nível médio das águas do mar. Ao contrário do método da Distância Euclideana do Vetor Tridimensional, a função LLDISTKM não considera para efeitos de cálculo a distância percorrida em termos de Altitude, obtendo-se uma **diferença superior a 100 metros de distância total percorrida** entre os dois métodos.

Dessa forma, o método escolhido para efetuar o cálculo da distância e velocidade média para o tratamento de dados foi a Distância Euclideana do Vetor Tridimensional.

3.3 Escolha dos valores para a Dimensão Declive da Matriz Multidimensional

Durante a recolha de dados, o autor efetuou várias experiências com os equipamentos, tendo utilizado o Ficheiro **Track 2D** (Apêndice C) para análise e tratamento dos dados GPS recolhidos.

Como os relógios estavam programados para efetuar o registo de dados de segundo a segundo, notou-se alguma discrepância nos valores do declive, que não estavam a corresponder à realidade, como por exemplo numa subida aparecerem alguns valores negativos para o mesmo.

Esta evidência levou à criação de uma espécie de filtro para o ficheiro **Track 2D** que pressupunha as mesmas características do anterior com a diferença que efetua o cálculo de 10 em 10 segundos, como consta no Apêndice D, colmatando alguns *outliers* existentes no que diz respeito ao valor do declive.

Repare-se na diferença do comportamento da velocidade com a variação de declive, do Ficheiro **Track 2D** (Figura 2.4d) para o filtro criado (Figura 3.2).

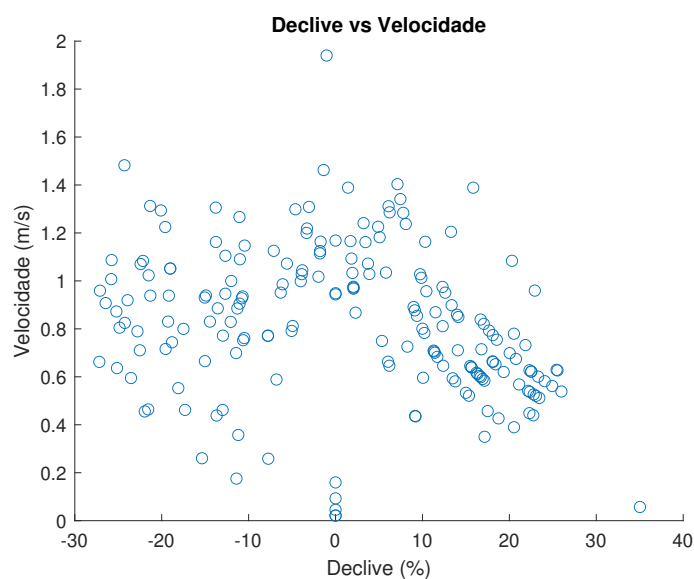


FIGURA 3.2: Filtro **Track 2D** - Diagrama de dispersão do comportamento da velocidade consoante o declive.

Fonte: Autor

Pela análise da Figura 3.2, facilmente se consegue aferir que o comportamento do declive não é assim tão linear, como ilustra a Fórmula de Tobler representada na Figura 2.2. Para um determinado valor percentual do declive, obtêm-se diferentes valores para a velocidade de progressão.

Por outro lado, com a criação do filtro de 10 em 10 segundos para o Ficheiro **Track 2D**, conseguiu-se obter um resultado mais próximo da realidade, eliminando alguns *outliers* existentes.

Deste modo, com base na análise das experiências ilustradas pela Figura 3.3, definiram-se os quatro valores intervalares para a dimensão Declive da Matriz Multidimensional, já abordados no capítulo anterior.

Mais à frente, no subcapítulo da análise dos dados, irá ser abordado o processo de tratamento dos dados em bruto, nomeadamente da obtenção de uma aproximação semelhante à Fórmula de Tobler.

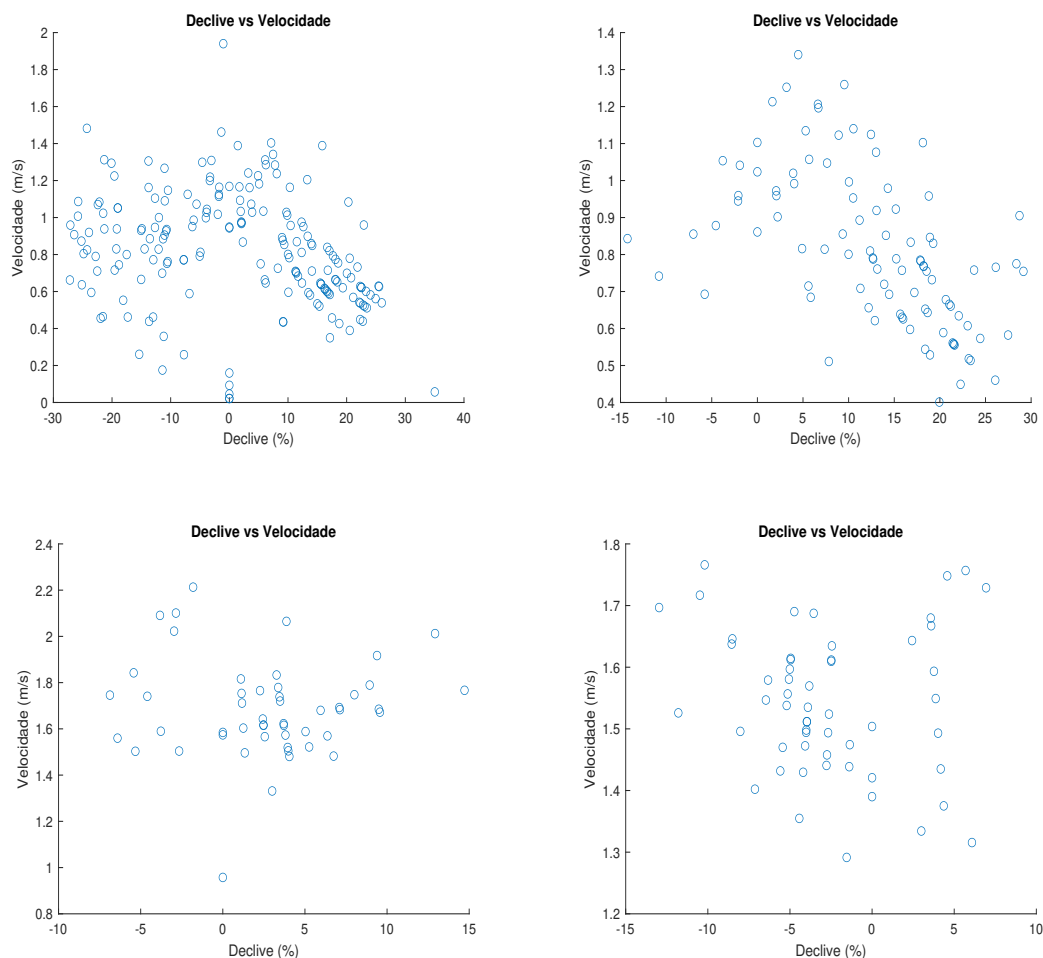


FIGURA 3.3: Ilustração do comportamento da velocidade de progressão com a variação do declive em quatro percursos diferentes.

Fonte: Autor

3.4 Recolha de Dados

Neste subcapítulo abordar-se-á o processo de Recolha de Dados. O processo de recolha de dados teve em consideração as respostas dadas à entrevista, no que diz respeito à forma mais relevante para analisar o comportamento da velocidade de progressão mediante diversos fatores.

Tendo em conta a localização da Escola Naval e a disponibilidade de recursos e material, delineou-se um percurso dentro da Base Naval do Alfeite, representado na Figura 3.4. Este percurso foi escolhido tendo em conta a Área de Influência ⁶ de

⁶Segundo a terminologia NATO, uma área de influência é definida como: “a geographical area wherein a commander is directly capable of influencing operations by manoeuvre, information activities or fire support systems normally under his command or control”((NSO), 2022), ou seja,

uma Companhia, que no caso dos Fuzileiros poderá estender-se até aos 6200 metros, correspondendo ao alcance máximo do Morteiro Tampela 120mm.

Por outro lado, a escolha do percurso pressupõe a recolha de dados da velocidade de progressão, tendo em conta diversas tipologias de terreno e declives.

Neste sentido, o percurso teve início na praia da Ponta dos Corvos e término no portão de acesso à Base Naval do Alfeite (Portão das Barrocas). Relativamente à distância e à tipologia de terreno, desenhou-se um percurso com cerca de 5 quilómetros, dos quais, aproximadamente, 700 metros são em areia, 1500 metros em asfalto, 800 metros em terreno arborizado (mata) e 2200 metros em picada, tal como consta na Figura 3.4.

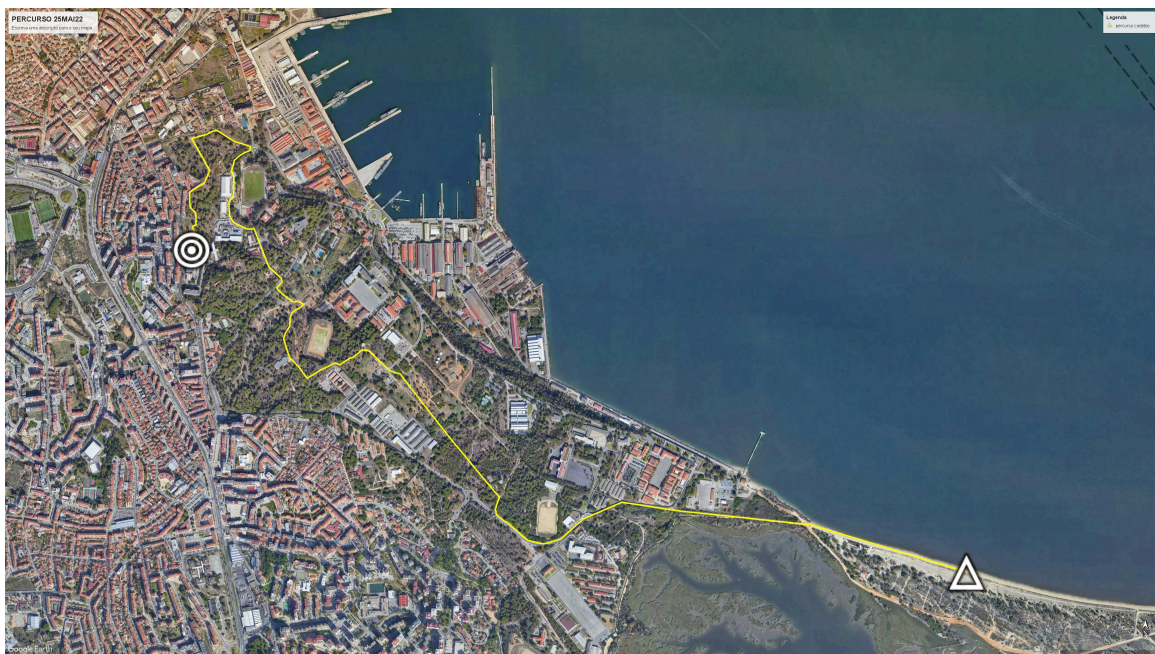


FIGURA 3.4: Experiência de recolha de dados realizada no dia 25 de maio 2022. Percurso com cerca de 5 km com início na Praia da Ponta dos Corvos e término no Portão das Barrocas da Base Naval do Alfeite.

Fonte: Autor

Para a realização desta experiência é importante referir que o ideal seria ter utilizado um grupo de 8 homens, correspondente a uma secção, no entanto por questões operacionais e de disponibilidade, contou-se apenas com a colaboração de dois cadetes Fuzileiros que atualmente se encontram a frequentar o 4º ano da Escola Naval.

nesta área o comandante tem a capacidade de causar efeitos físicos através da manobra e de fogos, e efeitos psicológicos através da condução de operações/atividades de informação.

No dia 25 de maio de 2022, cada elemento foi munido com um relógio Garmin Forerunner 245 (devidamente programado de acordo com a Tabela 3.1) e com uma imagem satélite do percurso, impressa numa folha A4, para efetuar o registo da velocidade de progressão.

Face às respostas obtidas nas entrevistas, considerou-se que:

- Cada elemento iria transportar o **Módulo de Combate** (Dimensão Equipamento), sendo que é o equipamento usado em operações.
- Durante a deslocação, cada elemento teria de utilizar a **progressão em Contacto Provável** (Dimensão Progressão), por ser o tipo de contacto mais abrangente.
- A recolha de dados seria feita durante o **Dia** (Dimensão Fator Luminosidade) e de forma **individual**, com 10 minutos de diferença entre cada elemento.

Antes de dar início ao percurso, foi dado um pequeno briefing, incidindo nos seguintes aspetos:

- Na transição de um tipo de terreno para outro, cada elemento deverá iniciar nova gravação de atividade no relógio, por forma a facilitar o tratamento dos dados *a posteriori*.
- Durante a progressão em terreno arborizado (mata), o objetivo é que a progressão se mantenha em linha reta, ignorando travessias de picadas, ou quaisquer procedimentos a nível tático (paragens, altos, verificação do elemento à retaguarda, etc.).
- A recolha de dados é feita de forma individual. Por essa razão, cada elemento sairá com 10 minutos de diferença um do outro. A progressão é efetuada ao ritmo de cada um e não com o objetivo de “tentar” aproximar-se da pessoa que vai à frente, uma vez que pode correr o risco de adulterar os dados. Caso isso aconteça, cada elemento deverá continuar a sua progressão normalmente, ao seu ritmo.
- Aspetos de segurança, nomeadamente *checkpoints* onde o autor estará no caso de surgir uma situação inopinada.
- *Deadline*: A duração prevista para efetuar o percurso era de aproximadamente duas horas, pelo que se estabeleceu um *deadline* com os elementos para estarem na Escoteria da Escola Naval, caso não conseguissem completar o percurso na sua totalidade.

3.5 Análise dos Dados

Com base no percurso efetuado, todas as atividades registadas nos relógios Garmin foram gravadas na *cloud* do relógio.

Cada atividade registada é carregada automaticamente na aplicação da Garmin Connect, uma aplicação desenvolvida pela própria Garmin. A partir daqui os ficheiros são descarregados em formato GPX para o computador, e analisados no filtro para o Ficheiro **Track 2D** (Apêndice D).

Tal como foi referido no subcapítulo da escolha dos valores para a dimensão Declive, o ficheiro Filtro **Track 2D** pressupõe o cálculo da distância e velocidade de 10 em 10 segundos. Através da análise da Figura (3.5) é possível visualizar o comportamento do declive e da velocidade de progressão consoante o tempo.

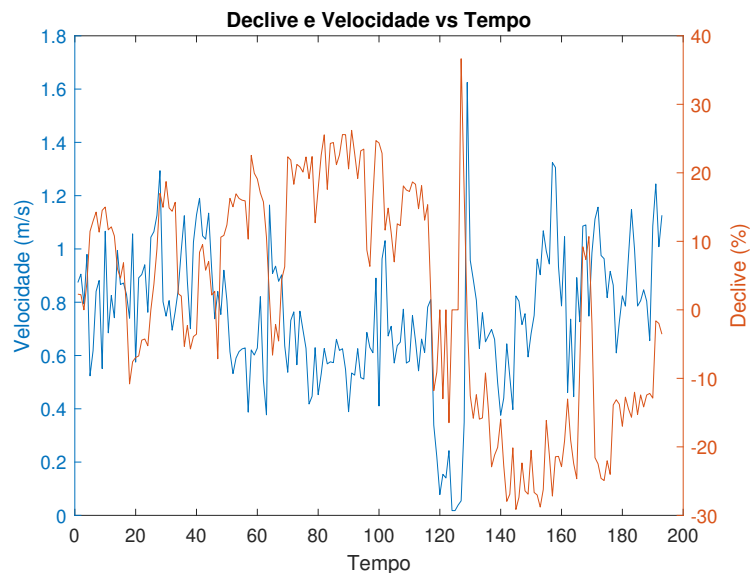


FIGURA 3.5: Comportamento da Velocidade e do Declive consoante o Tempo.

Fonte: Autor

Seguidamente, para obter uma aproximação semelhante à Fórmula de Tobler calculou-se a média das velocidades de progressão para cada um dos intervalos escolhidos para a dimensão Declive (Apêndice D), tendo obtido a seguinte imagem:

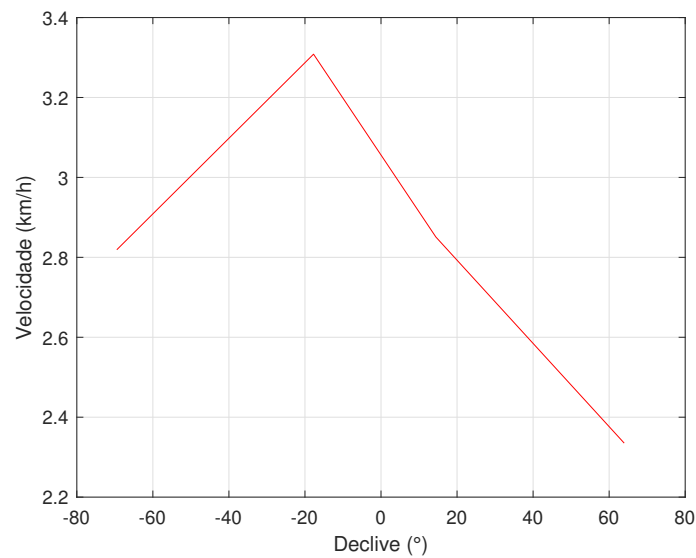


FIGURA 3.6: Aproximação à Fórmula de Tobler.
Fonte: Autor

Pela análise da Figura 3.6, é possível observar uma semelhança comparativamente com a Fórmula de Tobler (Figura 2.2). No entanto, é importante salientar que a obtenção de um modelo mais refinado e mais aproximado à Fórmula de Tobler, está diretamente dependente da quantidade de dados que são recolhidos.

Apesar da recolha de dados para este trabalho não ter sido a desejada, é possível presumir que quantos mais dados forem recolhidos no âmbito desta temática, mais aproximado será este modelo à Fórmula de Tobler.

Tendo em conta os intervalos escolhidos para o declive, e os valores obtidos para a velocidade, gravaram-se os dados obtidos no Ficheiro Filtro **Track 2D** (Apêndice D) para uma folha Excel. Estes resultados foram devidamente organizados com base na Tabela 2.1, descrita no capítulo anterior, e compilados numa Tabela final (3.3), para a Matriz Multidimensional:

TABELA 3.3: Matriz Multidimensional (resultados)

terreno	id_equipamento	id_declive	id_postura	id_progressão	id_fatorluminosidade	velocidade
1	2	1	1	3	1	1,42
1	2	2	1	3	1	1,32
1	2	3	1	3	1	1,32
1	2	4	1	3	1	1,57
2	2	1	1	3	1	1,38
2	2	2	1	3	1	1,34
2	2	3	1	3	1	1,43
2	2	4	1	3	1	1,49
3	2	1	1	3	1	1,13
3	2	2	1	3	1	1,17
3	2	3	1	3	1	1,24
3	2	4	1	3	1	1,39
4	2	1	1	3	1	0,89
4	2	2	1	3	1	0,97
4	2	3	1	3	1	1,07
4	2	4	1	3	1	0,76

Fonte: Autor

Com base na análise dos resultados da Tabela 3.3, podemos aferir as seguintes conclusões:

- Com o Módulo de Combate envergado e em progressão em contacto provável, o Tipo de Terreno onde se registou o menor valor para a velocidade de progressão, independentemente do intervalo do declive, foi o Terreno Arborizado(4);
- Com o Módulo de Combate envergado e em progressão em contacto provável, o valor máximo para a velocidade de progressão, foi registado no Tipo de Terreno Areia(1), no intervalo de declive de $>-10(4)$;
- De um modo geral, considerando o equipamento transportado e o tipo de progressão utilizado, pode dizer-se que existe uma grande discrepância nos valores da velocidade de progressão, tendo em conta os diferentes tipos de terreno e os intervalos de declive.

Relativamente a este último ponto, assim como foi referido anteriormente, o comportamento e os valores que a velocidade de progressão apresenta com as diversas dimensões está associado à quantidade de dados que foram recolhidos.

Infelizmente, não houve oportunidade em termos de tempo e disponibilidade para efetuar a recolha de dados desejada, pelo que os dados recolhidos não são suficientes para permitir completar todos os valores referentes a todas as dimensões da Matriz. Nas dimensões Fator Luminosidade, Peso do Equipamento Transportado, Postura e Modo de Progressão, por exemplo, só se conseguiu recolher dados para um

dos seus valores, respetivamente de dia, com módulo de combate, de pé e progressão em contacto provável.

Portanto, como será referido nas propostas para trabalhos futuros, seria interessante empregar mais tempo no que diz respeito à recolha de dados e apuramento dos valores da velocidade de progressão, para todos os valores constituintes da Matriz Multidimensional.

3.6 Anomalias detetadas no Simulador

Durante a realização do presente trabalho de investigação, foram detetadas algumas irregularidades no simulador, que irão ser abordadas no presente subcapítulo.

1. **Criação de Cenários:** O simulador foi programado para permitir a criação de cenários de forma manual, isto é, ser o próprio utilizador a “desenhar” manualmente cada polígono para definir os diferentes tipos de área num determinado cenário. Todavia, verificou-se que só era permitida a gravação dos cenários que fossem programados diretamente através do código fonte do simulador. Depois de identificada e localizada esta anomalia, retificaram-se alguns aspetos no simulador, permitindo ao utilizador a criação e gravação manual de cenários a partir da interface do simulador.
2. **Localização inicial dos Agentes:** No início de cada simulação, reparou-se que os agentes não iniciavam na sua área de origem, mas sim numa área de obstáculo. Tendo resolvido esta anomalia no código fonte, os agentes já passaram a localizar-se na área de origem correta, no início de cada simulação.
3. **Estruturação e Organização do Código:** Durante a realização deste projeto uma das principais dificuldades foi a interpretação do código do simulador. A maioria dos seus parâmetros não estavam comentados, tendo consumido imenso tempo ao autor na sua análise e percepção. Neste sentido, retificaram-se alguns aspetos e fizeram-se melhorias em termos de organização e estrutura do código do simulador, nomeadamente comentários em todas as funções e botões, facilitando o trabalho a qualquer utilizador que possa vir a dar continuidade ao desenvolvimento desta ferramenta.

Capítulo 4

Implementação

Neste capítulo irá ser abordado todo o processo de implementação no simulador.

A primeira constatação que se fez, foi que o simulador utilizava como interface, ou imagem base, o campo de futebol da Escola Naval. O seu código origem estava única e exclusivamente preparado para ler essa imagem. Neste sentido, foi criado uma caixa de mensagem para a leitura de qualquer ficheiro imagem (do tipo .jpg) onde se processa a ação, ou seja, o mapa de simulação. A nível do Corpo de Fuzileiros, isto servirá para que, no futuro, o utilizador carregue no simulador uma imagem aérea correspondente à sua Área de Operações em qualquer parte do mundo, e consiga simular a sua ação, de acordo com a sua missão.

4.1 Implementação da Matriz Multidimensional no Simulador

Através da análise do código MATLAB que se segue, a Matriz Multidimensional foi carregada para o simulador, onde é feita a sua leitura e armazenamento numa matriz MM1 com 6 dimensões, onde a velocidade é obtida pela sétima coluna da Matriz Multidimensional (exemplo: $MM1(1,2,1,1,3,1)=1.42$).

```
MM=xlsread ("MATRIZ DADOS.xlsx", "Folha2");  
save lixo MM  
  
for i=1:length(MM(:,1))  
  
    MM1(MM(i,1),MM(i,2),MM(i,3),MM(i,4),MM(i,5),MM(i,6)) =  
    MM(i,7);  
  
end
```

CÓDIGO FONTE 4.1: Leitura da Matriz de Dados para MM e armazenamento numa matriz MM1 de dimensão 6, elaborado pelo autor.

Assim a componente velocidade atual, definida como $\text{marines}(j,5)$ por Orzhekhovskiy, 2020, passou a ser substituída pela matriz MM1.

4.2 Definição do declive através de um plano inclinado

Até à data, o simulador só estava preparado para 2 dimensões. Nesse sentido, adicionou-se uma terceira dimensão, a dimensão do eixo do z, correspondente a uma incrementação de alturas. Tal como é ilustrado pela Figura 4.1, para efeitos de experimentação esta incrementação de alturas começa no valor 0 e termina no valor 43.65, perfazendo um declive de 9%(cada célula corresponde a 25cm).

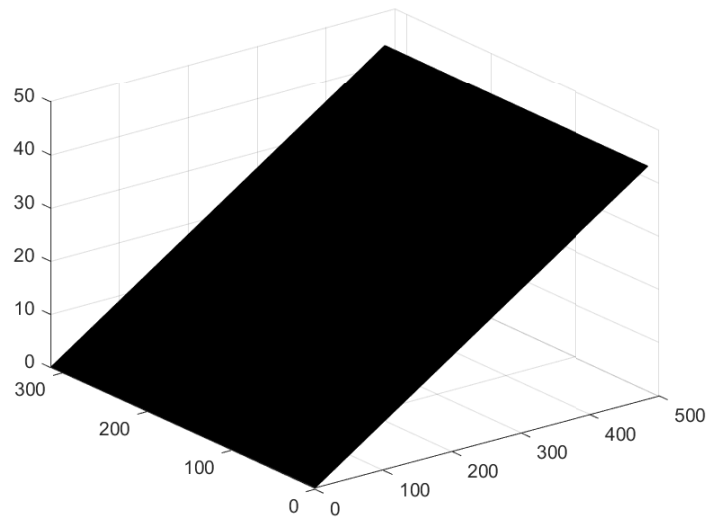
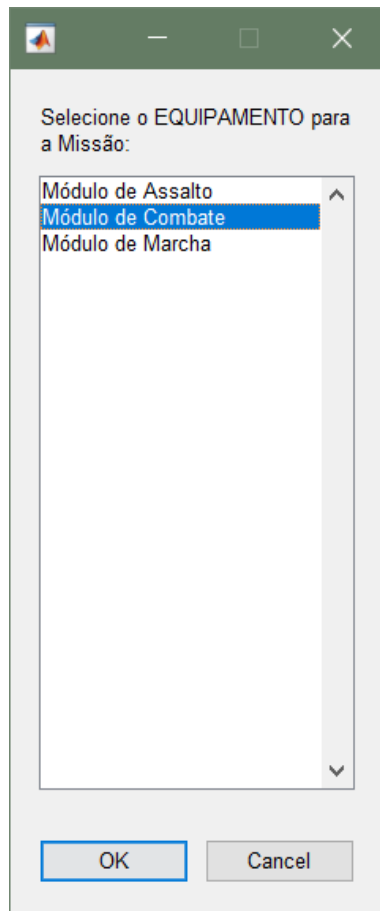


FIGURA 4.1: Definição Eixo do Z - Simulador em plano inclinado(função *surf*)
Fonte: Autor

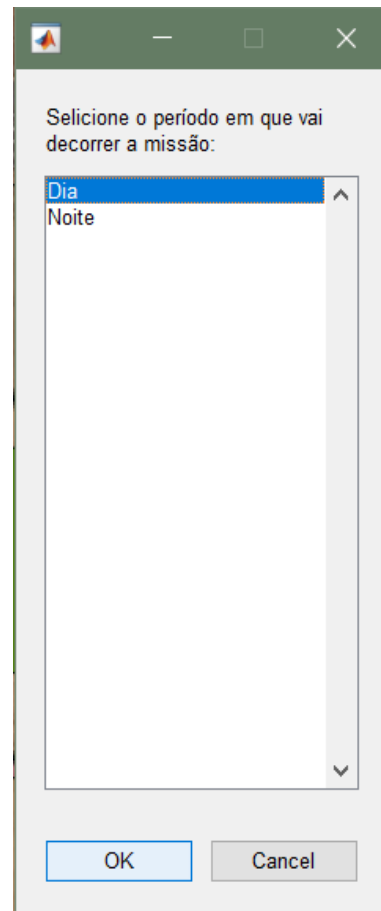
Posteriormente, é efetuado o cálculo do declive, em que a dimensão Declive é definida no simulador a partir da variável `id_declive`, sendo atribuídos os valores de acordo com o respetivo intervalo de declive.

4.3 Obtenção de dados a partir do utilizador

Após o cenário estar construído, guardado e carregado são apresentadas duas *listboxes*, tal como é ilustrado pela Figura 4.2, que foram criadas para o utilizador escolher o equipamento a transportar para a missão (Dimensão Peso do Equipamento Transportado - Figura 4.2a) e para o utilizador escolher em que período é que a sua missão irá ocorrer (Dimensão Fator Luminosidade - Figura 4.2b). Desta forma, o simulador obtém os dados selecionados pelo utilizador, utilizando essa informação para a escolha da velocidade de progressão correspondente na Matriz Multidimensional.



(A) Escolha do Equipamento



(B) Escolha do Fator Luminosidade

FIGURA 4.2: *Listboxes*.

Fonte: Autor

Na criação do cenário, foi adicionada uma área denominada Tipo de Terreno à janela Tipo de Área, com os valores Areia, Estrada, Picada e Terreno Arborizado, tal como é ilustrado pelas Figuras 4.3 e 4.4.

4.3. Obtenção de dados a partir do utilizador

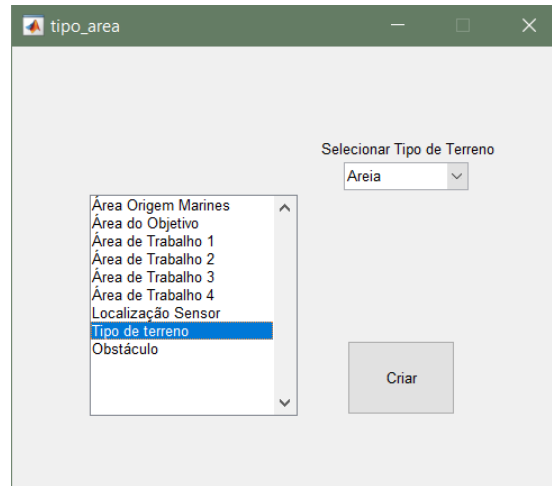


FIGURA 4.3: Janela Tipo Área - Seleção do Tipo de Terreno
Fonte: Autor



FIGURA 4.4: Valores para Área Tipo de Terreno
Fonte: Autor

Desta forma o utilizador, com a criação do cenário e respetivas áreas, informa o simulador sobre as áreas e tipos de terreno que o cenário vai ter, onde novamente irá utilizar essa informação para a escolha da velocidade da Matriz Multidimensional.

Seguidamente, foi definida a variável `id_terreno`, onde são atribuídos os valores de acordo com o respetivo tipo de terreno. Assim, através da função *inpolygon*, o simulador consegue saber em que tipo de terreno o agente se encontra.

Na gravação de um cenário, tal como consta em Orzhekhovskiy, 2020, a sua estrutura de dados contém o nome, o grupo data/hora, os pontos em x e em y que definem os polígonos e o valor associado aos mesmos. Nesta estrutura de dados foi adicionado um campo intitulado "terreno", que preserva os polígonos associados aos tipos de terreno desenhados pelo utilizador (Figura 4.5), uma vez que não ficavam gravados no cenário e tinham de ser criados sempre que o cenário era carregado. Assim, no que diz respeito ao código implementado os polígonos que definem os diferentes tipos de terreno em cada cenário são tratados separadamente das outras áreas existentes. Isto foi necessário porque a matriz que contém as áreas do cenário só estava preparada para a existência de um polígono referente a tipo de terreno.

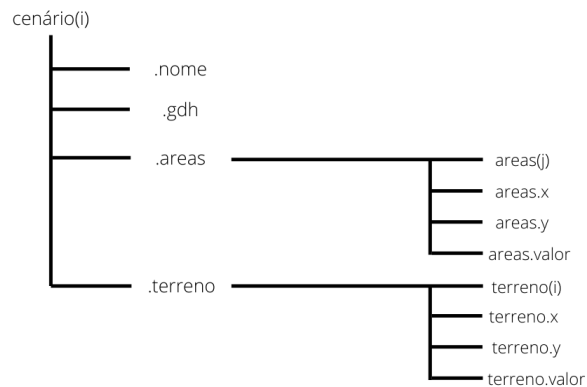


FIGURA 4.5: Estrutura de Dados para Armazenar os cenários
Fonte: Adaptado de Orzhekhovskiy, 2020

4.4 Aplicação num cenário construído no simulador

No presente subcapítulo será demonstrada a aplicação da Matriz de Progressão num cenário construído no simulador.

Em Orzhekhovskiy, 2020, é descrita toda a simbologia, código de cores e significado de cada uma das áreas na criação de cenários. Neste sentido, segue-se uma imagem que ilustra aquilo que foi mencionado anteriormente.

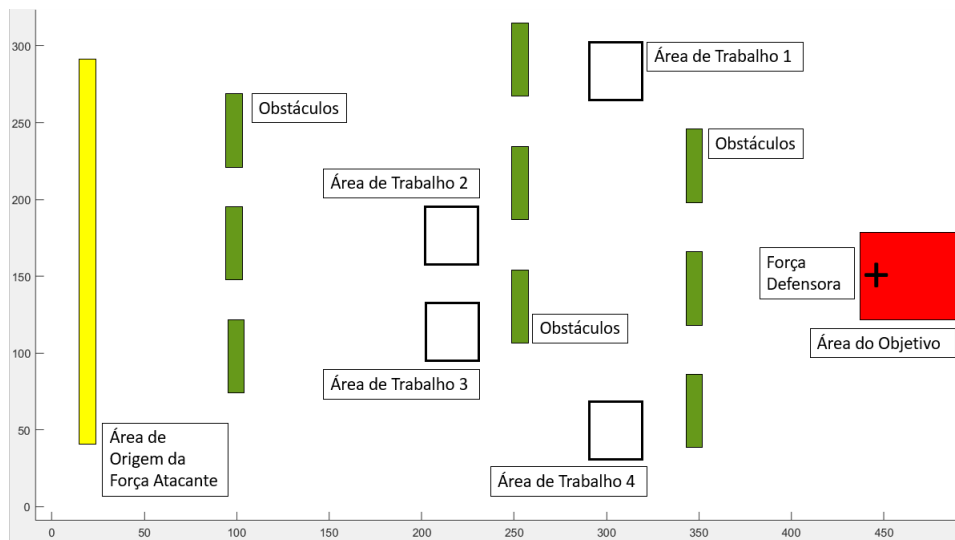


FIGURA 4.6: Simbologia utilizada no desenho de cenários
Retirado de Orzhekhovskiy, 2020

Conforme é possível observar na Figura 4.7, construiu-se um cenário com o objetivo de materializar todo o processo de implementação da Matriz, seleção de dados pelo utilizador e obtenção da informação pelo simulador.



FIGURA 4.7: Cenário
Fonte: Autor

Este cenário é constituído por uma área de origem dos agentes localizada no lado esquerdo, uma área de objetivo onde se localiza o agente inimigo, e três obstáculos. Estes obstáculos não permitem uma linha de vista para o objetivo,

são intransponíveis, tendo que ser obrigatoriamente contornados. Foram igualmente simulados neste cenário a passagem dos agentes pelos 4 tipos de terreno, nomeadamente: areia, estrada, picada e terreno arborizado (terreno definido como *default*).

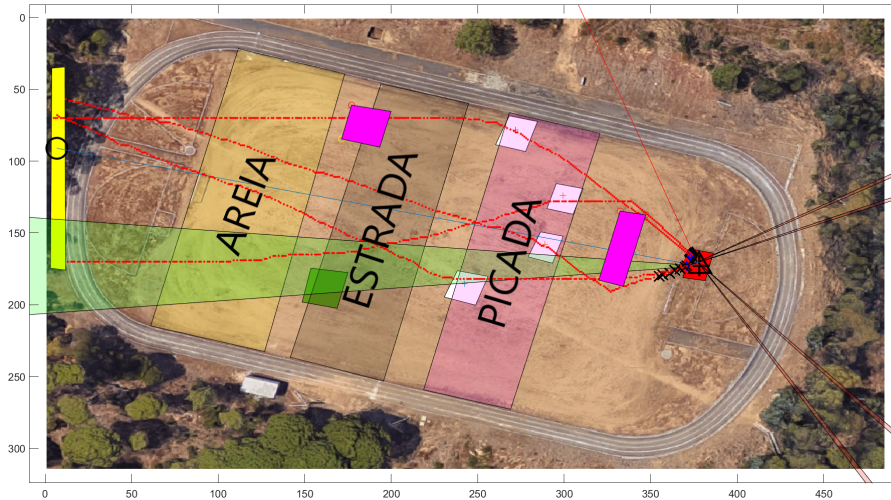


FIGURA 4.8: Demonstração de uma simulação no cenário
Fonte: Autor

Pela análise da figura Figura 4.8, a construção de um obstáculo junto à area de objetivo, onde se localiza o inimigo, teve a finalidade de impedir que os agentes fossem detetados pelo sensor e fossem abatidos, com o propósito de demonstrar a variação da velocidade de progressão dos agentes com os diversos tipos de terreno. A figura acima representa uma simulação efetuada no cenário construído, a escala de equipa.

Conclusão

Revisão do trabalho realizado

Em primeiro lugar, é importante realçar os trabalhos congéneres de Orzhekhovskiy, 2020 e Jones, 2020, que contribuíram para o desenvolvimento da primeira versão deste simulador, no que diz respeito à análise de diferentes táticas, técnicas e procedimentos, com obtenção de resultados robustos e definição de vários modelos.

Juntamente com o trabalho realizado pelo autor, onde foi proposta a Criação, Alimentação e Implementação de uma Matriz de Progressão num simulador complexo de agentes, foi possível demonstrar as potencialidades desta ferramenta como um sistema de apoio à decisão e desenvolvimento de competências.

Para cumprimento deste objetivo, o trabalho foi dividido em quatro capítulos principais, nomeadamente: Introdução, Modelação, Experimentação e Resultados e Implementação.

No primeiro capítulo foi abordada a pertinência e objetivo deste trabalho e realizado um enquadramento teórico, bem como uma análise a trabalhos congéneres.

No capítulo da Modelação, foram definidas as dimensões da Matriz de Progressão, tendo em conta não só as entrevistas efetuadas, como também a análise e estudo bibliográfico das diferentes dimensões no que diz respeito aos valores a considerar. Neste capítulo, foi ainda demonstrado como foi efetuado o cálculo da distância e velocidade através do Ficheiro **Track 2D**.

Em Experimentação e Resultados, foi apresentado o processo de escolha dos equipamentos e programação dos mesmos para recolha de dados e a escolha do método para cálculo da distância e velocidade média num percurso em formato GPX. Por outro lado, foi ainda abordado o processo de escolha dos valores para a Dimensão Declive, o processo de recolha e análise dos dados e algumas anomalias que foram detetadas no simulador ao longo da realização do trabalho.

Finalmente, no Capítulo da Implementação, mostrou-se a implementação da Matriz Multidimensional no simulador, a definição do declive no simulador, a

forma como o utilizador providencia os dados e o processo de obtenção dos mesmos por parte do simulador. Por último, foi demonstrada a aplicação prática da Matriz Multidimensional no simulador, através de um cenário construído pelo autor.

Em suma, os objetivos propostos para a realização do trabalho foram cumpridos. Efetivamente, conseguiu-se provar a necessidade de Criação de uma Matriz Multidimensional, Alimentar essa mesma matriz com dados através de experiências realizadas, e Implementá-la num simulador já criado.

Contudo, é importante salientar que os simuladores são ferramentas que precisam de ser constantemente revistas e atualizadas, pelo que é possível melhorar o trabalho que foi aqui desenvolvido. Tal como é referido no terceiro capítulo, não houve oportunidade para efetuar a recolha de dados que era desejada, não sendo suficiente para atingir os resultados pretendidos, nem completar todos os valores referentes a todas as dimensões da Matriz Multidimensional. Quantos mais dados forem recolhidos e analisados, mais próximo da realidade será o comportamento da velocidade de progressão dos agentes.

Como em todos os trabalhos de investigação, foram sentidas algumas dificuldades na sua realização. Em primeiro lugar, a análise do código do simulador já existente foi um processo que consumiu imenso tempo ao autor por diversas razões, tempo este que poderia ter sido dedicado à recolha e análise de dados. A primeira, foi por não estar devidamente comentado, estruturado, de forma a facilitar a compreensão, interpretação, e consequentemente, o seu emprego por outros utilizadores. Assim, houve necessidade de verificar todo o código de raiz e as funcionalidades de cada item (botão, função, interface, menus, etc.).

Por outro lado, na estrutura curricular e no plano de estudos do Curso de Mestrado Integrado em Ciências Militares Navais - Especialidade de Fuzileiros, não existe contacto com a programação sem ser na cadeira introdutória à programação no 1º ano e Sistemas de Apoio à Decisão no 4º ano da Escola Naval, nem uma unidade curricular focada para o ensino de temáticas como a modelação e simulação, pelo que os tópicos abordados tiveram de ser aprendidos de raiz.

Outra dificuldade sentida foi o facto de não existir quaisquer dados relativamente à medição da velocidade de progressão em situações de probabilidade de contacto com o inimigo. As inúmeras referências bibliográficas relativamente a esta temática consideram a velocidade de progressão apenas em contacto administrativo.

Por último e não menos importante, houve dificuldades no processo de recolha de dados. Esta foi uma tarefa bastante exigente no que diz respeito a reunir

todas as condições inerentes ao processo, desde autorizações para efetuar percursos na BNL, à disponibilidade ao nível de pessoal e material para contribuir para a recolha de dados, bem como a especificidade dos próprios dados a recolher, nomeadamente tudo o que está relacionado com as dimensões da Matriz de Progressão.

Concluindo, os simuladores são ferramentas extremamente importantes, sobretudo nos dias atuais, face ao constante desenvolvimento tecnológico, uma vez que permitem o estudo e o desenvolvimento de competências num ambiente quase tão próximo como a realidade, sendo cada vez mais uma fonte de investimento, vista como um recurso para os organismos de defesa e para as forças militares.

Propostas para trabalhos futuros

Tal como foi referido anteriormente, os simuladores são ferramentas que, pela complexidade que lhes é inerente, necessitam de ser constantemente atualizados e melhorados. Para tal, deverá procurar-se implementar novas ideias que vão ao encontro do propósito do simulador, com o objetivo de refinar e dar continuidade ao trabalho desenvolvido e promover a obtenção de melhores resultados.

Nesta perspetiva, segue-se um conjunto de sugestões para trabalhos futuros, a realizar pelos próximos Aspirantes da Escola Naval, que se sintam motivados em realizar um trabalho nesta área e queiram perpetuar o simulador como uma ferramenta a ser utilizada pela Marinha Portuguesa, nomeadamente pelo Corpo de Fuzileiros.

A primeira recomendação que o autor faz está diretamente relacionada com a realização deste trabalho. No âmbito da Matriz Multidimensional, recomenda-se a recolha de mais dados e realização de mais experiências, com o objetivo de validação em termos da velocidade de progressão para todos os valores referentes às dimensões da Matriz e verificação do funcionamento correto do próprio simulador. No âmbito da Modelação, Orzhekhovskiy, 2020 refere a criação da capacidade de deteção dos agentes pelo ruído causado pelo seu movimento, onde assinala a possibilidade de ser facilmente implementada no simulador.

Por outro lado, o estado atual do simulador prevê apenas a valência de tiro para a Força Defensora (agente inimigo), sendo que esta valência deveria ser acrescentada igualmente para a Força Atacante numa perspetiva de reação ao contacto.

Adicionalmente, uma vez que os agentes se deslocam de forma aleatória para cada uma das áreas de trabalho, propõe-se que este movimento seja bem estudado

e definido, por forma a impedir que os agentes se misturem e se afastem das suas respetivas equipas e evitar que atravessem os setores de fogo uns dos outros. Deste modo, irá garantir-se a coesão e segurança tanto ao nível individual, como coletivo.

Finalmente, a última proposta é dirigida ao Corpo de Fuzileiros, onde se exalta a reativação da Secção de Doutrina e Experimentação, dedicada ao desenvolvimento de doutrina, avaliação e análise de táticas, mas sobretudo para a recolha de dados e registo das condições em que esses dados são recolhidos. Assim, a existência de um interlocutor na Escola de Fuzileiros com conhecimento dos trabalhos que estão a ser desenvolvidos na Escola Naval revela-se extremamente importante, tendo um papel preponderante na inovação e contribuição para o desenvolvimento deste tipo de ferramentas.

Bibliografia

- Abreu, R. J. G. d. (2019). *O papel dos simuladores aplicados ao ensino superior: caso de estudo ISCAL* (tese de doutoramento). ISCAL.
- Assistência, G. C. (2022). GPS Accuracy | Garmin Centro de Assistência.
- Barlow, M. & Easton, A. (2002). Crocodile-an open, extensible agent-based distillation engine. *Information & Security: An International Journal*, 8(1).
- Bitesize, B. (2022). Advantages and disadvantages of simulation - Computer simulation - GCSE ICT Revision.
- Brandstein, A., Horne, G. E. & Friman, H. (2000). *Project Albert+ ROLF 2010=Red Orm* (rel. téc.). MARINE CORPS COMBAT DEVELOPMENT COMMAND QUANTICO VA.
- Carvalho, L. S. d. (2014). Análise das potencialidades e vantagens do uso da simulação computacional em operações logísticas complexas, como ferramenta de auxílio à tomada de decisões: estudo de caso em uma organização industrial.
- Cavaleiro, S. P. V. C. (2020). Edificação do conceito do Bridge Resource Management no contexto operacional da Marinha Portuguesa.
- Central, M. (2012). LatLon distance - File Exchange - MATLAB Central.
- Christensson, S. A., Woodcock, A. E., Hitchins, D. K. & Cobb, L. (2004). Modeling the governance and stability of political dynamical systems. *The Cornwallis Group VIII: analysis for governance and stability*, 123.
- Cioppa, T. M. & Jackson, L. A. (2003). *Advanced Experimental Designs for Military Simulations*. The Center.
- Cioppa, T. M., Lucas, T. W. & Sanchez, S. M. (2004). Military applications of agent-based simulations. *Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference, 2004.*, 1.
- Folhas, B. (2012). *A importância da Marcha como técnica de deslocamento no desempenho operacional das Unidades de Infantaria*. (tese de doutoramento). Academia Militar. Direção de Ensino.
- Fuzileiros, D. (Ed.). (2009). *Manual de Tática Terrestre I*. Serviço de Publicações Escolares, Escola Naval.

- Galán, J. M., Izquierdo, L. R., Izquierdo, S. S., Santos, J. I., Del Olmo, R., López-Paredes, A. & Edmonds, B. (2009). Errors and artefacts in agent-based modelling. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 12(1), 1.
- Garmin. (2022a). Forerunner 245/245 Music - Autonomia.
- Garmin. (2022b). Garmin Forerunner® 245 | Relógios de corrida - Overview.
- Garmin. (2022c). Garmin Forerunner® 245 | Relógios de corrida - Specifications.
- Garmin Centro de Assistência. (2022). Exportar atividades e dados de fitness e de bem-estar do Garmin Connect.
- Garmin Customer Support. (2022). What Is Smart Recording vs. Every Second Recording on a Garmin Fitness Device?
- GoPro. (2016). *Hero 9 Black User Manual*.
- GoPro. (2022). Câmera de ação HERO9 Black com transmissão, vídeos em 5K e fotos de 20 MP.
- GoPro Support. (2022a). GoPro Camera File Chaptering Information.
- GoPro Support. (2022b). GoPro Hero 9 not very accurate GPS caused by smoothing it?
- GoPro Support. (2022c). Hero 9 for telemetry.
- Headquarters, D. o. t. A. (2019). *ATP 2-01.3 Intelligence Preparation of the Battlefield*.
- Ilachinski, A. (2004). *Artificial war: Multiagent-based simulation of combat*. World Scientific.
- Ilachinski, A. (2009). EINSTEIN. *Artificial Life Models in Software* (pp. 259–315). Springer.
- Ilachinsky, A. (1997). Irreducible Semi-Autonomous Adaptive Combat (ISAAC): An Artificial-Life Approach to Land Combat.
- Jones, G. N. d. A. R. (2020). *Desenvolvimento e Análise Robusta de Táticas–Terrestres (DART-T)* (tese de doutoramento).
- Laboratory, L. L. N. (2022). Janus, a conflict simulation model | Science and Technology.
- Law, A. M. (2015). *Simulation Modeling and Analysis, FIFTH EDITION*.
- Leonardi, M. & Horne, G. (2001). *Maneuver warfare science 2001*.
- Martins, J. J. M. (2017). Métodos eficientes de simulação e otimização em problemas de segurança portuária.
- MATLAB Simulink. (2022). How Stepping Through a Simulation Works - MATLAB Simulink.
- (NSO), N. S. O. (2022). ATP-3.2.1 CONDUCT OF LAND TACTICAL OPERATIONS.

- Olanders, K. A. (1996). Re-engineering of a cellular automata combat modeling tool.
- Orzhekhovskiy, Y. V. (2020). *Desenvolvimento e análise robusta de táticas-terrestres em cenários arborizados* (tese de doutoramento).
- Reynolds, W. N. & Dixon, D. S. (2001). The Archimedes Combat Modeling Platform. *Maneuver Warfare Science 2001*.
- Robinson, S. (2014). *Simulation: the practice of model development and use*. Bloomsbury Publishing.
- Shing, M.-t., Berzins, V., Saluto, M., Williams, J., Guo, J., Shultes, B. et al. (1999). The story of re-engineering 350,000 lines of FORTRAN code. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, 25, 111–120.
- Standardization Office, N. (2019). AAP-06 NATO Glossary of Terms and Definitions (English and French), 175–183.
- Telemetry. (2022a). GoPro HERO9 for GPS data. Is it good? | Telemetry Overlay Extractor blog.
- Telemetry. (2022b). Telemetry Extractor for GoPro (Lite).
- Telemetry. (2022c). Telemetry Extractor Premium for GoPro FAQ | Extract GoPro telemetry to multiple formats.
- Tobler, W. (1993). Three Presentations on Geographical. *National Center for Geographic Information and Analysis*.
- Wolf, E. (2003). *Using agent-based distillations to explore logistics support to urban, humanitarian assistance/disaster relief operations* (rel. téc.). NAVAL POST-GRADUATE SCHOOL MONTEREY CA.

Apêndice A - Equipamentos utilizados - Garmin Forerunner 245 e GoPro HERO9 Black

Para a presente dissertação foi utilizado um conjunto de equipamentos para a recolha de dados, nomeadamente: 3 relógios Garmin Forerunner 245 e 2 câmaras GoPro HERO9 Black.

O relógio Garmin Forerunner 245, representado na Figura A.1a é um relógio de corrida com capacidade GPS, que monitoriza as atividades físicas feitas por uma determinada pessoa, analisa as suas estatísticas, forma de correr e consegue elaborar planos de treino (Garmin, 2022b).

A câmara Go Pro Hero9 Black (Figura A.1b) é uma câmara de ação à prova de água com GPS incorporado, que permite gravação de vídeos de alta resolução (5K), com estabilização avançada e nivelamento do horizonte (GoPro, 2022).



(A) Garmin Forerunner 245



(B) GoPro HERO9 Black

FIGURA A.1: Equipamentos utilizados

Os dispositivos são caracterizados pelas seguintes características que se seguem.

A.1 Dimensões - Tipos de dados que guarda

A Tabela (A.2) representa os diversos sensores que estão incorporados nos equipamentos.

TABELA A.1: Sensores dos Equipamentos, adaptado de Garmin, 2022c e Telemetry, 2022c

Garmin Forerunner 245	GoPro HERO9 Black
GPS	GPS (Lat., Long., Alt., 2D speed, 3D speed)
GLONASS	Acelerômetro
GALILEO	Sensor de Giroscópio
Monitor de ritmo cardíaco de pulso Garmin Elevate	Shutter speed (tempo de exposição)
Bússola	White Balance Temperature (Kelvin)
Acelerômetro	White Balance RGB gains
Termômetro (só com o sensor <i>tempe</i> da garmin)	Sensor ISSO
Acclimação por oxímetro de pulso	Average luminance
	Image uniformity
	Scene classification (CLASSIFIER.prob)
	Predominant hue (hue.weight)
	Face Coordinates and details
	CameraOrientation
	ImageOrientation
	Gravity Vector
	Wind Processing
	Microphone Wet
	AGC audio level
	MRV Frame Skip
	LRV Frame Skip

Apesar da vasta quantidade de funcionalidades que o relógio Garmin possui, destacam-se ainda a contagem de passos, distância total percorrida e a distância, tempo, ritmo e velocidade baseados em GPS (Garmin, 2022c).

Para o presente trabalho de investigação interessa extrair a informação que está nos sensores GPS, GALILEO, bússola e acelerômetro do relógio Garmin Forerunner 245, e nos sensores de giroscópio, GPS, acelerômetro e Gravity Vector, da câmara GoPro HERO9 Black.

A.2 Autonomia

Em termos de autonomia o relógio possui uma vida útil de até 7 dias a operar no modo smartwatch ou 24 horas com GPS e monitorização de frequência cardíaca (Garmin, 2022a), ao passo que a autonomia da câmara GoPro depende do modo de vídeo que é utilizado (GoPro, 2016).

Foi efetuada uma experiência de gravação em Ultra HD na câmara GoPro no exercício Mar Verde do Estágio Final de Curso dos Aspirantes Fuzileiros, onde acabou por se concluir que a qualidade do vídeo não é relevante para a recolha de dados. Além de ocupar muito mais espaço a nível de armazenamento da câmara, diminui radicalmente a duração da sua bateria.

A.3 Formato de Gravação

Na GoPro os dados ficam incorporados no ficheiro vídeo com formato personalizado da GO PRO. No entanto, através da ferramenta Telemetry Extractor é possível exportar os dados para os formatos apresentados na tabela que se segue. A exportação de atividades dos equipamentos é então oferecida nos seguintes formatos:

TABELA A.2: Formato de Gravação (*Fyle Type*), adaptado de Garmin Centro de Assistência, 2022 e Telemetry, 2022c

Garmin Forerunner 245	GoPro HERO9 Black
Exportar Original (.FIT)	GPX (GPS Exchange Format)
Exportar para TCX	KML (Keyhole Markup Language)
Exportar para GPX	CSV (Comma Separated Values)
Exportar para Google Earth	JSON (JavaScript Object Notation)
Exportar Splits para CSV	mgJSON (After Effects animation)
	geoJSON
	PNG (Graph)
	WebM (GPS map video)

A.4 Cadência de Gravação

Para a cadência de gravação procurou-se investigar de quanto em quanto tempo é que os sensores de cada equipamento recolhem os dados, e se é possível alterar essa cadência.

No relógio Garmin o registo de dados pode ser feito através do modo inteligente (*standard*) onde permite um registo mais longo de uma determinada atividade, enquanto a opção de registo a cada segundo fornece informação mais detalhada sobre a atividade, contudo se esta durar um longo período de tempo pode correr o risco de não ser completamente gravada (Garmin Customer Support, 2022).

A câmara GoPro oferece 4 tipos de cadência: padrão (a mais versátil), atividade, cinemática e *slo-mo* (GoPro, 2016,pág. 48).

A.5 Armazenamento

O relógio Garmin tem um armazenamento disponível de 3,5 GB ao passo que o armazenamento da câmara GoPro está dependente do cartão SD que se esteja

a utilizar. Neste caso usaram-se cartões de 64 GB de memória.

Assim, para efeitos de recolha de dados utilizou-se o modo de vídeo 1080p com 60 fps (frames per second) na câmara GoPro.

A.6 Precisão do sinal GPS

Segundo Assistência, 2022 a precisão do sinal GPS pode variar conforme as condições meteorológicas, e a proximidade de edifícios, zonas com muita vegetação ou com elevada densidade populacional que podem estar associadas ao equipamento.

Todavia, em condições normais é espectável que o sinal GPS nos recetores GPS da Garmin tenham uma precisão de entre 5 a 10 metros.

Relativamente à câmara GoPro foi elaborada uma pesquisa relativamente ao erro de precisão GPS da câmara GoPro e verificou-se em vários fóruns da comunidade que é um problema bastante comum no modelo da GoPro Hero9 (GoPro Support, 2022c) (GoPro Support, 2022b). Neste sentido, a empresa detentora da GoPro publicou um artigo relacionado com o assunto, onde procedeu a alguns esclarecimentos (Telemetry, 2022a).

Apêndice B - Entrevista

No âmbito da presente dissertação foi conduzida uma entrevista ao CFR RES FZ Almeida Gabriel e ao 1TEN FZ Borges Rodrigues, com o intuito de perceber quais as dimensões relevantes ou que tivessem impacto na medição da velocidade de progressão de um agente.

O objetivo da entrevista baseou-se no complemento da matriz de dados para posterior recolha, compilação e introdução dos dados no simulador.

Na sequência da entrevista foi dado então todo o enquadramento teórico necessário para as respostas das questões colocadas e obtenção das respostas.

B.1 Enquadramento Teórico - Entrevista

No âmbito da minha tese de mestrado pretendo recolher dados com o objetivo de associar velocidades de progressão a várias tipologias de terreno, com declives diferentes. Os dados recolhidos serão posteriormente compilados e introduzidos num simulador inicialmente desenvolvido pelo Sr. Comandante Maia Martins, que tem como objetivo o estudo do impacto de determinadas TTP em diversos tipos de cenário. Para a escolha e estudo das diferentes dimensões do modelo de progressão foi criada uma matriz de análise morfológica (GMA – General Morphological Analysis) com as seguintes dimensões:

1. Tipo de terreno
Tipo de vegetação
2. Declive (positivos e negativos)
3. Equipamento/Peso transportado
4. Modo de Progressão (Tático ou Administrativo)
5. Treino
6. Idade
7. Condições Meteorológicas
8. Fator luminosidade (Dia ou Noite)

No preciso momento para a dimensão “Tipo de Terreno” estão-se a considerar os tipos de terreno onde os Fuzileiros efetivamente operam, tendo em conta as

suas características e valências como Força Especial da Marinha Portuguesa. Foram escolhidos os seguintes tipo de terreno:

1. Estrada (alcatrão)
2. Picada (caminho rural; piso de terra firme)
3. Areia (praia, areia fina)
4. Lodo (em caso excepcional)
5. Água (pequenos cursos de água, rio, mar)

Nesta dimensão inseriu-se ainda aquilo que se intitula de uma dimensão híbrida, nomeadamente o “Tipo de Vegetação”, onde cada tipo de terreno estaria associado a um tipo de vegetação. Esta dimensão ainda está por clarificar no que toca aos valores a colocar nesta variável.

No que toca à dimensão “Declive”, como é medido em percentagem, estão-se a considerar declives com valores positivos e negativos.

Relativamente à dimensão “Equipamento/Peso transportado”, estão-se a considerar os módulos atualmente utilizados pelo Corpo de Fuzileiros, com os seus respetivos pesos, de acordo com a Dissertação de Mestrado do GMAR FZ Rosado Jones, nomeadamente:

1. Módulo de Assalto (peso aproximado de 30 kg)
2. Módulo de Combate (peso aproximado de 40 kg)
3. Módulo de Marcha (peso aproximado de 50 kg), retirado de (Jones, G. (2020). Desenvolvimento e Análise Robusta de Táticas – Terrestres (DART-T) Modelação de agentes Fuzileiros)

Relativamente à dimensão “Modo de Progressão”, tendo em conta o objetivo do simulador, consideraram-se 2 valores para esta dimensão, ou seja, progressão em modo tático e progressão em modo administrativo. A progressão em modo tático é um deslocamento muito mais cuidadoso, no que toca ao cariz tático, havendo alta possibilidade de contacto com o IN, sendo por isso significativamente mais lenta do que uma progressão em modo administrativo, progressão esta que é efetuada quando o contacto com o IN é muito pouco provável, permitindo poupar as forças para o desempenho da sua missão.

Por fim consideraram-se ainda as variáveis Treino, Idade, Condições Meteorológicas e o Fator Luminosidade (Dia ou Noite), no que toca à recolha de dados

para a medição da velocidade de progressão para diferentes tipos de terreno, com diferentes declives.

B.2 Questões

Neste sentido, dada a sua elevada experiência e conhecimento, gostaria de lhe colocar algumas questões:

1. Quais são os Tipos de Terreno mais utilizados, dentro do espectro de operações dos Fuzileiros, que considera ser relevantes para efeitos de recolha de dados no sentido de analisar/avaliar a velocidade de progressão? Ex: Alcatrão, areia, picada, outro (...)
2. Considera que a dimensão “Declive” tem influência/impacto no que toca à medição da velocidade tendo em conta diversos tipos de terreno? Se sim, qual é a percentagem de declive a partir do qual se deverá considerar para efeitos de recolha de dados?
3. Considera que a dimensão “Equipamento/Peso transportado” tem influência/impacto no que respeita à medição da velocidade tendo em conta diversos tipos de terreno? Se sim, que pesos é que considera mais relevantes para a recolha de dados? Considera que os dados deverão ser recolhidos tendo em conta os diferentes módulos utilizados pelo Corpo de Fuzileiros (assalto, combate e marcha)?
4. Relativamente à dimensão “Modo de Progressão”, tendo em conta que uma progressão em modo tático é significativamente mais lenta e efetuada de uma forma mais cuidadosa do que uma progressão em modo administrativo, qual o modo de progressão que considera mais pertinente para efeitos de recolha de dados, de acordo com o objetivo do simulador?
5. Considera que a dimensão “Treino” é relevante para o estudo da velocidade nos diversos tipos de terreno?
6. Considera que a dimensão “Idade” tem impacto/influência para esta dissertação, tendo em conta a população-alvo e o objetivo do simulador?
7. Considera que a dimensão “Condições Meteorológicas” têm influência/impacto no que toca à medição da velocidade tendo em conta diversos tipos de terreno? Se sim que valores considera relevantes para a mesma?

8. Considera que a recolha de dados deverá ser feita tendo em conta a dimensão “Fator Luminosidade”, ou seja, estudar a velocidade no arco diurno e no arco noturno para cada um dos tipos de terreno?
9. Qual é a distância mínima a percorrer para cada um dos tipos de terreno que considera ser relevante para efeitos de recolha de dados?
10. Sugere mais alguma variável para além das apresentadas, que possa ser interessante para efeitos de estudo, por forma a constituir a matriz de análise?

B.3 Respostas

1. **CFR RES FZ Almeida Gabriel:** Todo o tipo de terreno em climas temperados.

1TEN FZ Borges Rodrigues: Areia, Terreno acidentado, Terreno arborizado, picadas.

2. **CFR RES FZ Almeida Gabriel:** Sim. Considere o declive até aqueles que os automóveis já não podem fazer, 45° se não estou em erro. O problema é que não existem dimensões mensuráveis para o declive. Uma pessoa a pé consegue ir a todo o lado. Se olharmos por exemplo para a Serra de Grândola, é tudo passável, não se consegue é estabelecer uma boa medida.

1TEN FZ Borges Rodrigues: Até cada 30cm de variância por metro até 30%.

3. **CFR RES FZ Almeida Gabriel:** Módulo de marcha só é usado em deslocamentos administrativos, onde não há ação do inimigo. O mais interessante de todos será o módulo de combate que é o que é usado nas operações, uma vez que o módulo de assalto é o que a gente deve ter sempre connosco.

1TEN FZ Borges Rodrigues: Por ordem de importância: Combate, Assalto, Marcha.

4. **CFR RES FZ Almeida Gabriel:** Progressão em contacto provável.

1TEN FZ Borges Rodrigues: Progressão tática.

5. **CFR RES FZ Almeida Gabriel:** Não.

1TEN FZ Borges Rodrigues: Não, qualquer fuzileiro deve estar pronto para desempenhar as tarefas inerentes ao seu cargo. Os que não estão prontos, podem ser vistos como outliers.

6. **CFR RES FZ Almeida Gabriel:** Não.

1TEN FZ Borges Rodrigues: Não.

7. **CFR RES FZ Almeida Gabriel:** Claro que têm, mas é pelo efeito que causam no solo.

1TEN FZ Borges Rodrigues: Pouco impacto em progressões táticas, o mau tempo facilita a progressão, porque as forças podem ser mais ruidosas.

8. **CFR RES FZ Almeida Gabriel:** Sim, porque à noite normalmente anda-se mais devagar, mas depende também do equipamento que temos. Se houver bons equipamentos, bons visores noturnos e o caminho estiver bem marcado, anda-se como se fosse de dia.

1TEN FZ Borges Rodrigues: Arco diurno, à noite as forças movem-se sobretudo apeadas em picadas.

9. **CFR RES FZ Almeida Gabriel:** No mínimo entre 4 ou 5 quilómetros.

1TEN FZ Borges Rodrigues: Entre 3 a 6 quilómetros, para todas as tipologias.

10. **CFR RES FZ Almeida Gabriel:** Se for uma secção há aqui dimensões que não interessam. Na secção os Fuzileiros não têm o mesmo tipo de treino mas a idade, em si, efetivamente não interessa.

1TEN FZ Borges Rodrigues: Tipo de Força. Uma secção de morteiros terá uma velocidade menor, que uma secção de manobra por exemplo.

Apêndice C - Track 2D

Ficheiro Track 2D

```
% TRACK 2D
% Author: Rúben Ricardo
% email: jaime.ricardo@marinha.pt
% 14 MARCO 2022 17H 48MIN; Last revision: 17-Maio-2022

% file description: lê o ficheiro GPX e elabora um plot com
    coordenadas, e
% outro plot com a elevação em relação ao tempo.

%----- BEGIN CODE -----

%route = gpxread('Patrulha_Quinta_das_Lameirinhas_relogio.gpx');
route = gpxread('Patrulha_Quinta_das_Lameirinhas_relogio.gpx');
timeStr = strrep(route.Time, '.000Z', '');

figure(1)
plot(route.Longitude, route.Latitude)
xlabel('LONGITUDE')
ylabel('LATITUDE')
title('Coordenadas: Latitude/Longitude')

%t = datetime(timeStr);

figure (2)
%area(t, route.Elevation)
%area(route.Elevation)
plot(route.Elevation)
%xtickformat(fmt)
xlabel('time (hours:minutes:seconds)')
xlabel('Tempo (segundos)')
ylabel('Elevação (metros)')
title('Perfil de Elevação');

%% PLOT EM 3D DO PERCURSO LATITUDE, LONGITUDE E ELEVACÃO
figure(3)
plot3(route.Longitude, route.Latitude, route.Elevation)
xlabel('LONGITUDE')
ylabel('LATITUDE')
zlabel('ALTITUDE (M)')
title('3D Plot');
```

```

%% CÁLCULO DAS DISTÂNCIAS ENTRE DOIS PONTOS GPS ATRAVÉS DA APROXIMA
    CÃO PARA TRIGONOMETRIA PLANA

%utilização do teorema de Pitágoras

A=[route.Longitude;route.Latitude;route.Elevation]; % definição da
    matriz A(Latitude,Longitude)
A=A';
tempo=length(A); % definiu-se a variavel tempo que corresponde
    length da matriz de A, uma vez
% que os pontos GPS são recolhidos de segundo a segundo pelo Reló
    gio Garmin
%
%   EXEMPLO PARA A DISTÂNCIA E VELOCIDADE ENTRE A PRIMEIRA E
    SEGUNDA POSIÇÃO
%   pos1=A(1,:);
%   pos2=A(2,:);
%
%   lat1=pos1(1);
%   lat2=pos2(1);
%   lon1=pos1(2);
%   lon2=pos2(2);
%   z1=pos1(3);
%   z2=pos2(3);
%
%
%   deltaLat=(lat2-lat1)*60*1852; % diferença das latitudes
%   deltaLon=(lon2-lon1)*60*1852*cos(Lat); % diferença das
    longitudes
%   deltaZ=z2-z1;
%
%   x=deltaLon;
%   y=deltaLat;
%   z=deltaZ;
%
%   distancia=sqrt(x^2+y^2+z^2);
%   sum(distancia) ----- ans = 1.0824
%   velocidade=sum(distancia)/tempo ----- velocidade =
    0.0011

tic

for i=1:length(A)
    if i<length(A)

```

```

        deltaLon(i,:)=(A(i+1,1)-A(i,1))*60*1852*cos(A(i,2)); %
diferença das longitudes
        deltaLat(i,:)=(A(i+1,2)-A(i,2))*60*1852; % diferença das
latitudes
        deltaZ(i,:)=A(i+1,3)-A(i,3);
    end
end

x=deltaLon;
y=deltaLat;
z=deltaZ;

distancia=sqrt(x.^2+y.^2+z.^2);
sum(distancia); % DISTÂNCIA TOTAL
PERCORRIDA

velocidade=distancia; % velocidade= distâ
ncia/1(segundo) VELOCIDADE EM CADA INSTANTE (segundo)
velocidade_media=sum(distancia)/tempo; % VELOCIDADE MÉDIA DO
PERCURSO EM M/S

declive=(z./distancia)*100; % DECLIVE EM CADA
SEGUNDO

toc

time=[1:length(timeStr)-1];

figure(5)
scatter(time,declive)
title('Comportamento do Declive Consoante o Tempo');
xlabel('Time (segundos)');
ylabel('Declive (%)');

figure(6)
histogram(declive)
title('Distribuição de frequências - Declive');
xlabel('Declive (%)');
ylabel('N de vezes')

figure(7)
histogram(velocidade)
title('Distribuição de frequências - Velocidade');

```

```
xlabel('Velocidade (m/s)');  
ylabel('N de vezes');  
  
figure(8)  
plot(declive, velocidade)  
  
figure(9)  
scatter(declive, velocidade)  
title('Comportamento da Velocidade consoante o Declive');  
ylabel('Velocidade (m/s)');  
xlabel('Declive (%)');
```

CÓDIGO FONTE C.1: Ficheiro Track 2D, fonte: Autor

Apêndice D - Criação de um filtro para o Ficheiro Track 2D

O presente código em MATLAB foi elaborado pelo autor com o objetivo de efetuar o cálculo de 10 em 10 segundos, permitindo colmatar alguns *outliers* no que diz respeito ao valor do declive.

Track 2D - Filtro

```
% TRACK 2D FILTRO
% Author: Rúben Ricardo
% email: jaime.ricardo@marinha.pt
% 16 Maio 2022; Last revision: 17 Maio 2022

% file description: Espécie de filtro do ficheiro Track2D, onde é
    efetuado
% o cálculo de 10 em 10 segundos.

%----- BEGIN CODE -----

clear all
close all
clc

route = gpxread('Patrulha_Quinta_das_Lameirinhas_relogio.gpx');
% definição da matriz A(Latitude,Longitude,Elevação)
A=[route.Longitude;route.Latitude;route.Elevation];
A=A';

% estabelcimento de um filtro de 10 segundos
B=A(1:10:end,:);
tempo=length(B);

for i=1:length(B)
    if i<length(B)
        deltaLon(i,:)=(B(i+1,1)-B(i,1))*60*1852*cos(B(i,2)); %
        diferença das longitudes
        deltaLat(i,:)=(B(i+1,2)-B(i,2))*60*1852; % diferença das
        latitudes
        deltaZ(i,:)=B(i+1,3)-B(i,3); % diferença das Altitudes
    end
end
```

```
%cos(B(i,1))

x=deltaLon;
y=deltaLat;
z=deltaZ;

distancia=sqrt(x.^2+y.^2+z.^2);
% DISTÂNCIA TOTAL PERCORRIDA
sum(distancia);

% VELOCIDADE EM CADA INSTANTE (neste caso a cada 10 segundos)
velocidade=distancia/10;

% VELOCIDADE MÉDIA DO PERCURSO EM M/S
velocidade_media=sum(distancia)/length(A);

% DECLIVE
declive=(z./distancia)*100;

%%
time=[1:length(B)-1];

%diagrama de dispersão, comportamento da velocidade consoante o
    declive
figure
scatter(declive,velocidade)
title('Declive vs Velocidade')
xlabel('Declive (%)')
ylabel('Velocidade (m/s)')

%% COMPORTAMENTO DO DECLIVE E DA VELOCIDADE CONSOANTE O TEMPO
figure
yyaxis left
plot(time,velocidade);
yyaxis right
plot(time,declive);

yyaxis left
title('Declive e Velocidade vs Tempo')
xlabel('Tempo')
ylabel('Velocidade (m/s)')
```

```

yyaxis right
ylabel('Declive (%)')

%% OBTENÇÃO DAS VELOCIDADES MÉDIAS PARA CADA UM DOS INTERVALOS DO
    DECLIVE
R=[velocidade,declive];

v_mean_10_plus= mean(velocidade(declive > 10));
v_mean_0_10 = mean(velocidade(declive <= 10 & declive >= 0));
v_mean_10_0 = mean(velocidade(declive < 0 & declive >= -10));
v_mean_10_minus = mean(velocidade(declive < -10));

% daqui guardam-se os valores para a matriz excel MATRIZ_DADIS.xls,
    obtidos
% para cada percurso

%% APROXIMAÇÃO    FUNÇÃO TOBLER
% Conversão de m/s para km/h e % para graus

% MULTIPLICOU-SE A MÉDIA DAS VELOCIDADES POR 3.6 para converter as
% velocidades de m/S para km/h para efeitos de comparação com a fó
    rmula de
% Tobler
v_mean_10_plus_km= v_mean_10_plus*3.6;
v_mean_0_10_km = v_mean_0_10*3.6;
v_mean_10_0_km = v_mean_10_0*3.6;
v_mean_10_minus_km = v_mean_10_minus*3.6;

%A degree (or in full degree of arc), usually symbolized by the
    symbol  ,
%is a measurement of plane angles, or of a location along a great
    circle
% of a sphere (such as the Earth or the celestial sphere),
    representing 1/360 of a full rotation.
%Fonte: https://www.convertunits.com/from/percent/to/degree

% 1% são 3.6 , dessa forma multiplicou-se os valores do declive
    por 3.6

d_mean_10_plus= mean(declive(declive > 10))*3.6;
d_mean_0_10 = mean(declive(declive <= 10 & declive >= 0))*3.6;
d_mean_10_0 = mean(declive(declive < 0 & declive >= -10))*3.6;

```

```
d_mean_10_minus = mean(declive(declive < -10))*3.6;

x=[d_mean_10_plus, d_mean_0_10, d_mean_10_0, d_mean_10_minus];
y=[v_mean_10_plus_km, v_mean_0_10_km, v_mean_10_0_km,
    v_mean_10_minus_km];

figure
plot(x,y,'r-');
grid on; xlabel('Declive ( )'); ylabel('Velocidade (km/h)');

%dec_0_plus=declive(declive>=0);
%dec_0_minor=declive(declive<0);
%vel_0_plusP=velocidade(declive>=0);
%vel_0_minor=velocidade(declive<0);

%rr=polyfit(dec_0_plus,vel_0_plusP,1);
%rrr=polyfit(dec_0_minor,vel_0_minor,1);

%figure
%y_hat1=polyval(rr,dec_0_plus)
%y_hat2=polyval(rrr,dec_0_minor)
%hold on
%plot(dec_0_plus,y_hat1)
%plot(dec_0_minor,y_hat2)
```

CÓDIGO FONTE D.1: Filtro para o Ficheiro Track 2D, fonte: Autor