

**GABRIEL PEREIRA RODRIGUES
PAULO RUBENS ALVARENGA KERASSIOTIS**

SIMULADOR DE BATALHAS

São Paulo
2022

**GABRIEL PEREIRA RODRIGUES
PAULO RUBENS ALVARENGA KERASSIOTIS**

SIMULADOR DE BATALHAS

Trabalho apresentado à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do Título de Engenheiro de Computação.

São Paulo
2022

**GABRIEL PEREIRA RODRIGUES
PAULO RUBENS ALVARENGA KERASSIOTIS**

SIMULADOR DE BATALHAS

Trabalho apresentado à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do Título de Engenheiro de Computação.

Orientador:

Ricardo Nakamura

São Paulo
2022

RESUMO

Este trabalho tem o intuito de estudar e simular batalhas e guerras no período da Antiguidade de modo a propor uma experiência didática para o usuário. Inicialmente, foram analisadas diversas batalhas reais ocorridas na época em questão, para que então pudesse ser criado um padrão mínimo de verossimilhança para os resultados da simulação. Além disso, também foram estudados os efeitos que algumas variáveis (como terreno ou clima) podem causar sobre estas batalhas. Quanto ao simulador em si, este foi desenvolvido na *game engine* Unity, após a escrita de seu documento de design técnico, seguindo padrões de design presentes na indústria de jogos e simuladores. Finalmente, foram também feitos testes quanto à sua fidelidade, nos quais o simulador obteve desempenho melhor que o esperado.

Palavras-Chave – simulação, histórica, batalhas, Unity.

ABSTRACT

This work has the intention of studying and simulating the battles and wars of Ancient history in order to provide an educational experience to the user. Initially, several real battles that took place during the period in question were analyzed, so that the simulation results could be kept to a minimum standard of realism. Furthermore, the effects of some variables (such as terrain or weather) on these battles were also analyzed. As for the simulator itself, it was developed in the Unity game engine, following the writing of its technical design document and adhering to design standards present in the game and simulation development industry. Finally, fidelity test were also prepared for the simulator, on which it had better than expected performance.

Keywords – simulation, historical, battles, Unity.

LISTA DE FIGURAS

1	Primeira fase da batalha de maratona.	18
2	Segunda fase da batalha de maratona.	18
3	Terceira fase da batalha de maratona.	19
4	Quarta fase da batalha de maratona.	19
5	Quinta fase da batalha de maratona.	20
6	A batalha de Termópilas.	22
7	Primeira fase da batalha de Canas.	24
8	Segunda fase da batalha de Canas.	24
9	A batalha do Lago Trasimeno.	26
10	A batalha do Rio Trebbia.	28
11	Primeira fase da batalha de Farsalos.	30
12	Segunda fase da batalha de Farsalos.	30
13	Primeira fase da batalha de Gaugamela.	32
14	Segunda fase da batalha de Gaugamela.	32
15	Diagrama de classe das tropas e dos comandantes.	35
16	Diagrama de classe dos terrenos e dos climas.	35
17	Diagrama de classe do <i>Menu Controller</i> , e protótipo da tela de seleção de civilizações e terrenos.	36
18	Diagrama de classe do <i>Player Controller</i> e <i>Camera Controller</i> , assim como protótipo da tela da simulação em andamento.	37
19	Parte do cronograma criado.	38
20	Árvore de decisão da infantaria.	43
21	Árvore de decisão dos arqueiros.	43
22	Árvore de decisão da cavalaria.	44

23	Árvore de decisão do comandante.	45
24	Captura de tela do protótipo desenvolvido.	48
25	Captura de tela do preparo da simulação de maratona, com cada tropa contendo 1000 soldados.	49
26	Captura de tela do preparo da simulação de Termópilas, com cada tropa contendo 1000 soldados.	49
27	Captura de tela da simulação de Maratona em andamento.	50

LISTA DE TABELAS

1	Resumo da batalha de Maratona.	17
2	Resumo da batalha das Termópilas.	21
3	Resumo da batalha de Canas.	23
4	Resumo da batalha do Lago Trasimeno.	25
5	Resumo da batalha do Rio Trebbia.	27
6	Resumo da batalha de Farsalos.	29
7	Resumo da batalha de Gaugamela.	31
8	Resumo dos resultados obtidos pelo simulador.	50

SUMÁRIO

1	Introdução	10
1.1	Motivação	10
1.2	Objetivo	10
1.3	Justificativa	11
1.4	Organização do Trabalho	11
2	Aspectos Conceituais	12
2.1	Civilizações da Antiguidade	12
2.2	Variáveis de batalha	13
2.2.1	Tempo	13
2.2.2	Terreno	13
2.2.3	Objetivos	14
2.2.4	Duração	14
2.2.5	Quantidade e distribuição de tropas	15
2.2.6	Equipamento	15
2.2.7	Estratégia	15
3	Metodologia do Trabalho	16
3.1	Pesquisa detalhada	16
3.1.1	Batalha de Maratona (490 a.C.)[1]	17
3.1.2	Batalha de Termópilas (480 a.C.)[1]	21
3.1.3	Batalha de Canas (216 a.C.)[2]	23
3.1.4	Batalha do Lago Trasimeno (217 a.C.)[2]	25
3.1.5	Batalha do Rio Trebbia (218 a.C.)[2]	27

3.1.6	Batalha de Farsalos (48 a.C.)[2]	29
3.1.7	Batalha de Gaugamela (331 a.C.)[3]	31
3.1.8	Batalhas similares	33
3.2	Regras do simulador	33
3.2.1	Preparo	33
3.2.2	Andamento	33
3.3	Apresentação	34
3.4	Documentos técnicos	34
3.5	Desenvolvimento	38
4	Especificação de Requisitos	39
4.1	Requisitos Funcionais	39
4.2	Requisitos Não Funcionais	39
5	Desenvolvimento do Trabalho	41
5.1	Tecnologias Utilizadas	41
5.2	Projeto e Implementação	41
5.2.1	Tropas	41
5.2.1.1	Parâmetros	42
5.2.1.2	Comandante	45
5.2.2	Variáveis de batalha	45
5.2.2.1	Tempo	46
5.2.2.2	Terreno	46
5.2.2.3	Equipamentos	47
5.2.3	Telas	48
5.2.4	Protótipo	48
5.3	Testes e Avaliação	48

6	Considerações Finais	52
6.1	Conclusões do Projeto de Formatura	52
6.2	Perspectivas de Continuidade	52
	Referências	54

1 INTRODUÇÃO

Nesta monografia será descrito o projeto de um simulador de batalhas que tem como referência principalmente registros históricos de batalhas da Antiguidade. Inicialmente, serão apresentadas uma visão geral do problema e dos objetivos.

1.1 Motivação

Apesar de existirem diversos jogos nos quais o usuário toma comando de um exército e tem seu controle durante batalhas, estes têm um caráter principalmente lúdico, desconsiderando certos aspectos para criar uma experiência mais divertida para o jogador. Entre estes aspectos estão, por exemplo, fatores climáticos e psicológicos que podem afetar as tropas durante suas batalhas.

Desse modo, um simulador que contasse com estas características poderia trazer benefícios para historiadores e pesquisadores. Com simulações mais próximas à realidade, estes poderiam analisá-las em mais detalhes, estudando como certas variáveis afetam o resultado final das batalhas.

1.2 Objetivo

O objetivo deste projeto é criar um software de simulação para batalhas históricas, voltado à educação e pesquisa. Assim, devem ser levados em conta não somente tipos e quantidades de unidades em cada exército, mas também elementos como terreno, clima, e fatores psicológicos de suas tropas.

Além disso, também deve ser possível modificar algumas variáveis da simulação das batalhas, como por exemplo o clima da área, para que possa ser estudado seu efeito sobre o resultado final.

1.3 Justificativa

Há dois pontos principais de justificativa para o projeto: um educativo, e outro de entretenimento.

O lado educativo é o principal: ao se assistir uma simulação fidedigna de uma batalha, um estudante ou pesquisador pode vir a ter um melhor entendimento do seu desenrolar. Além disso, a análise de simulações com situações iniciais levemente diferentes pode trazer novas percepções sobre as táticas utilizadas.

Por outro lado, apesar de não ser o foco do projeto, as simulações e suas modificações possuem um aspecto de entretenimento. Seria possível utilizar o simulador para drasticamente alterar as batalhas estudadas, ou mesmo criar novas a partir das configurações disponíveis no programa.

1.4 Organização do Trabalho

Para que pudesse ser iniciado o desenvolvimento do projeto, inicialmente foi feita uma pesquisa geral sobre as batalhas da Antiguidade, assim como as táticas e os equipamentos usados nestas. Também foram descritas as principais variáveis que deveriam ser incluídas durante a simulação destas batalhas. Estes aspectos conceituais estão descritos no Capítulo 2.

Já no Capítulo 3, é descrita a metodologia adotada durante o desenvolvimento do simulador.

No Capítulo 4, são levantados os requisitos funcionais e não funcionais básicos do projeto, assim como possíveis requisitos para extensões deste.

No Capítulo 5, é descrito a implementação do projeto como um todo, desde decisões de arquitetura até dificuldades encontradas durante o desenvolvimento, permitindo assim que trabalhos futuros neste tema tenham um ponto de partida mais claro. Além disso, também são apresentados os resultados dos testes realizados ao final do desenvolvimento.

Por fim, as conclusões finais do projeto são apresentadas no Capítulo 6. Além disso, também são descritas as contribuições geradas pelo trabalho desenvolvido e perspectivas de continuidade.

2 ASPECTOS CONCEITUAIS

Nesta seção, são abordados de forma geral os temas pesquisados pelo grupo como preparo para o desenvolvimento do simulador.

Entre estes estão as diversas batalhas da Antiguidade estudadas, assim como possíveis variáveis a serem consideradas durante a simulação.

2.1 Civilizações da Antiguidade

Devido à importância dos conhecimentos, equipamentos e estratégias militares, é necessário um estudo preliminar de alguns povos e seus exércitos. Vale ressaltar que, inicialmente, estes não devem ser muito distantes, tanto geográfica quanto temporalmente, para preservar a qualidade da simulação.

Como o período histórico selecionado foi a Antiguidade - aproximadamente de 500 a.C. a 400 d.C. -, alguns dos principais poderes militares da época [1–3] foram selecionados para estudos. Aqueles com mais informações acessíveis e maior influência histórica são:

- o império romano;
- a cidade de Esparta;
- o império persa;
- o império macedônico;
- o império cartaginês;
- a dinastia Han da China;
- e os hunos.

Esta é apenas uma lista inicial das civilizações a serem consideradas para implementação no simulador e pode ser revisada conforme é feita uma pesquisa mais detalhada.

2.2 Variáveis de batalha

Durante uma guerra, existem inúmeras variáveis em constante mudança. Para que a simulação continue fidedigna sem simular todas estas, foram selecionadas algumas que devem receber atenção especial, definidas a partir da pesquisa inicial feita. Estas serão utilizadas pelo algoritmo que controla tropas e comandantes, influenciando sua tomada de decisões.

Vale notar que as listas apresentadas a seguir são apenas pontos de partida para o desenvolvimento, e deverão ser repensadas conforme é feita uma pesquisa mais detalhada.

2.2.1 Tempo

O tempo meteorológico pode interferir com o combate e sua duração de várias maneiras. Um exemplo comum é a chuva, que pode vir a atrapalhar não somente a visibilidade no campo, como também o deslocamento de tropas e os suprimentos necessários durante o percorrer da batalha. Abaixo, são listados alguns exemplos dos tempos a serem considerados:

- tempo limpo;
- frio;
- calor;
- garoa;
- chuva;
- tempestade;
- neve;
- nevasca;
- e névoa.

2.2.2 Terreno

Muitas estratégias militares são fortemente dependentes do terreno do campo de batalha: emboscadas facilitadas por florestas densas, atrasar o inimigo ao forçá-lo a passar

por um pântano, ou vantagens de alcance em colinas. Assim, alguns terrenos iniciais a serem considerados são:

- campo aberto;
- colinas;
- florestas;
- desertos;
- montanhas;
- pântanos;
- estepes;
- praias;
- e desfiladeiros.

2.2.3 Objetivos

Uma das principais variáveis na decisão da estratégia é o objetivo a ser alcançado, para ambos os lados. Como são, no geral, muito dependentes do contexto, foram escolhidas 3 simplificações iniciais:

- extermínio dos inimigos;
- captura (ou assassinato) de uma pessoa importante;
- e dominação/defesa do local (dependendo do controle atual);

2.2.4 Duração

Há uma grande variedade nas durações de combates históricos, com algumas batalhas durando apenas horas, enquanto outras duram semanas. Quanto maior a duração de uma batalha, maior o estoque de suprimentos necessários, assim como maior a possibilidade da chegada de reforços. Além disso, caso os soldados estejam sob constante estresse, sua moral pode cair, afetando sua performance e possivelmente até levando-os a fugir.

2.2.5 Quantidade e distribuição de tropas

Uma das características mais óbvias de um combate: quantas tropas estão presentes de cada lado, e de que tipo são. As tropas podem ser de diversos tipos, dependendo dos povos a que pertencem. Alguns exemplos são:

- infantaria;
- arqueiros;
- e cavalaria.

2.2.6 Equipamento

O equipamento de cada tropa também é algo a que se deve prestar atenção. A armadura e as armas podem ser construídas de diversos materiais, como bronze e couro. Uma diferença muito grande na qualidade de seus equipamentos pode alterar drasticamente o fluxo da batalha.

2.2.7 Estratégia

Finalmente, a estratégia do exército define como este atua durante o combate. Cada tropa pode atuar de maneira diferente, mas idealmente segue as ordens de seu comandante. Vale também notar que a estratégia geral pode mudar conforme o decorrer da batalha, caso ocorram mudanças nas outras variáveis, como o clima ou mesmo o número de tropas.

3 METODOLOGIA DO TRABALHO

Nesta seção é documentado o método utilizado para o desenvolvimento do projeto.

3.1 Pesquisa detalhada

Inicialmente, foi feita uma pesquisa mais detalhada sobre o assunto, para a coleta de mais dados sobre as batalhas e as variáveis que foram propostas. Esta serviu tanto para melhorar o entendimento dos membros do grupo para a modelagem do simulador, quanto para melhor especificar requisitos para o projeto.

Seja por sua importância histórica ou sua variedade de estratégias militares, climas, terrenos e outras variáveis, foram escolhidas algumas principais batalhas a serem estudadas. Estas são descritas a seguir, de forma resumida.

3.1.1 Batalha de Maratona (490 a.C.)[1]

Participantes: gregos x persas.

Lado vitorioso: gregos.

Clima: mediterrâneo.

Terreno: costa do mar mediterrâneo na Grécia com diferença de nível na batalha.

Duração: durou 5 dias, começando no quinto dia, sendo que a briga foi praticamente instantânea.

	Gregos	Persas
Objetivos	derrotar o exército inimigo	derrotar o exército inimigo
Soldados	10000	25000
Perdas	200	6400
Suprimentos	bastante	limitado
Estratégia Militar	Ataque surpresa correndo para cima dos inimigos, com os flancos mais fortes e o centro recuando, querendo assim abocanhar o meio após derrotar as laterais.	Recuar e atacar a cidade principal.
Equipamento	Peitoral de bronze ou um Linothorax, botas, um capacete e um grande escudo redondo e côncavo. Os hoplitas estavam armados com longas lanças, que eram significativamente mais longas que as lanças persas, e uma espada.	As tropas geralmente estavam armadas com um arco, uma 'lança curta' e uma espada ou machado, e carregavam um escudo de vime. Eles usavam um colete de couro.

Tabela 1: Resumo da batalha de Maratona.

A Batalha de Maratona foi um importante confronto militar ocorrido em 490 a.C. durante a Guerra Greco-Pérsica. Foi a primeira grande vitória dos exércitos gregos sobre os invasores persas, que haviam invadido a Grécia há pouco tempo. A batalha ocorreu perto da cidade de Maratona, cerca de 40 quilômetros ao norte de Atenas, e foi decisiva para a preservação da independência da Grécia. A vitória dos Gregos foi alcançada graças à coragem e determinação dos soldados atenienses e plateenses, que lutaram com bravura contra as forças superiores do exército persa. A Batalha de Maratona é lembrada como um marco histórico na luta pelo livre pensamento e democracia na Grécia Antiga.

A batalha de Maratona pode ser descrita em 5 fases. Na primeira, representada na figura 1, os persas estavam atracados na praia, enquanto que os gregos estavam colina acima, se preparando para o confronto. O exército grego era composto apenas por soldados, com uma estratégia na qual o centro apresentava bem menos resistência que as laterais, conhecida como "martelo e bigorna". Enquanto isso, os arqueiros persas tentaram atacar, sem muito êxito. Em seguida, o exército grego começou a descer a colina em direção aos persas, dando assim início a segunda fase da batalha.

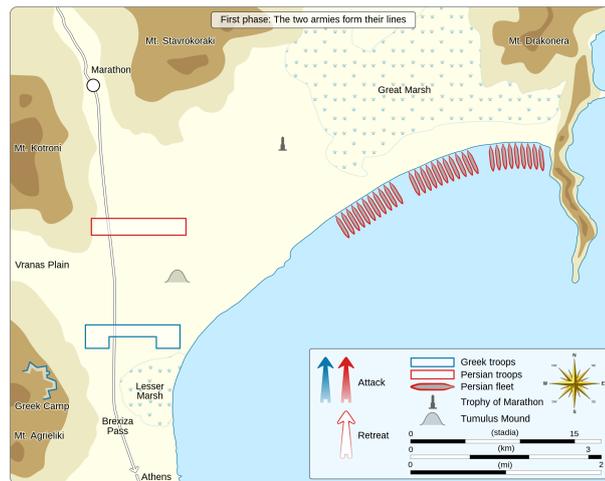


Figura 1: Primeira fase da batalha de maratona.

Fonte: [4]

Na segunda fase da batalha, figura 2, os gregos não só avançaram sobre o exército persa, mas sim correram até eles enquanto desciam da colina, criando um primeiro choque bem violento contra o exército persa.

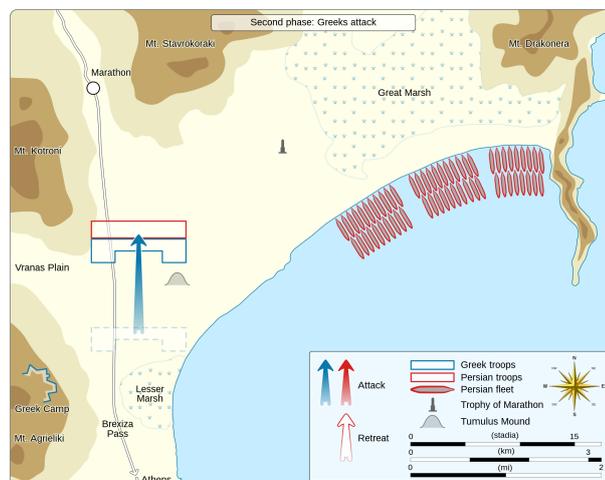


Figura 2: Segunda fase da batalha de maratona.

Fonte: [5]

Após o choque inicial, entramos na terceira fase do confronto, figura 3, onde a estratégia grega se mostra superior à persa. As laterais reforçadas gregas colocam pressão nas laterais inimigas. Enquanto isso, o centro grego não ataca, e sim permanece na defensiva, segurando o centro persa e fazendo com que este acabe recuando enquanto suas laterais avançam.

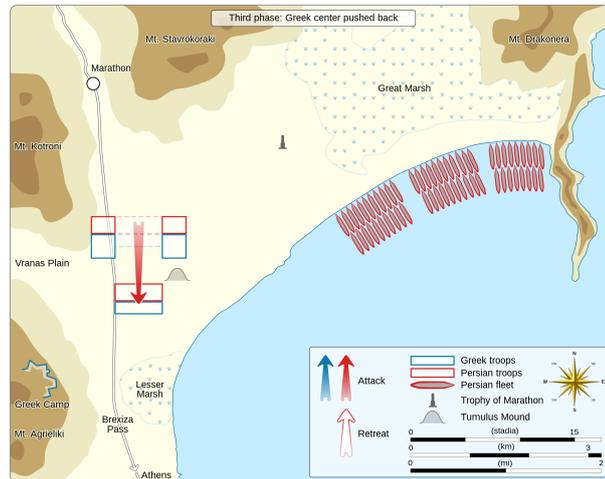


Figura 3: Terceira fase da batalha de maratona.

Fonte: [6]

Na quarta fase, figura 4, pode-se ver o porquê das laterais terem sido reforçadas: estando mais fortes que as laterais persas, os gregos acabam não só avançando suas laterais, mas também cria espaço para um ataque ao centro por seus flancos, fazendo-o batalhar em duas frentes.

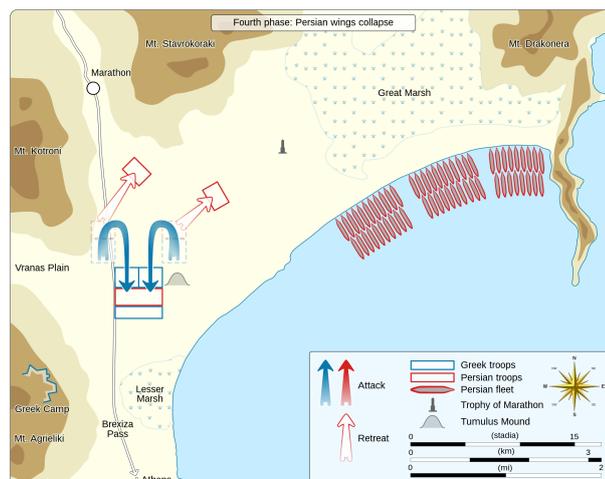


Figura 4: Quarta fase da batalha de maratona.

Fonte: [7]

Com o sucesso de sua estratégia, o que sobrou do exército persa foge para seus barcos, representado na figura 5, assim encerrando o confronto e dando a vitória para os gregos, apesar de seu menor número.

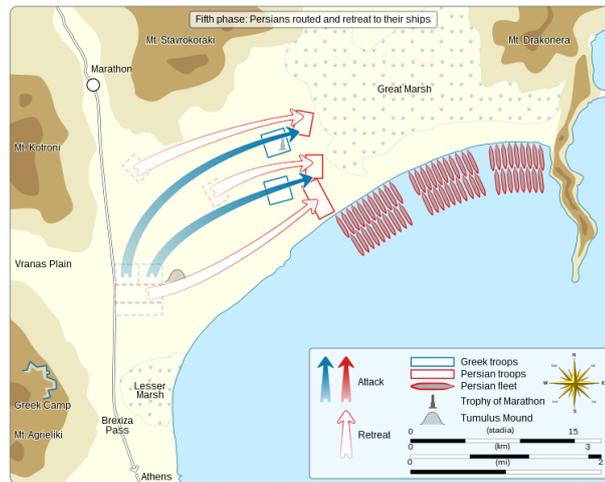


Figura 5: Quinta fase da batalha de maratona.

Fonte: [8]

3.1.2 Batalha de Termópilas (480 a.C.)[1]

Participantes: gregos x persas.

Lado vitorioso: persas.

Clima: mediterrâneo.

Terreno: montanhoso e bem estreito (100 metros de largura).

Duração: durou 3 dias, sendo o primeiro e segundo uma completa derrota para os persas e no terceiro dia usaram um caminho secundário afunilando os gregos.

	Gregos	Persas
Objetivos	defender o ataque inimigo	derrotar o exército inimigo
Soldados	7000	120000
Perdas	2000	20000
Suprimentos	mediano	limitado
Estratégia Militar	Atacar usando formação de falange.	Atacar em ondas até eventualmente achar um caminho secundário.
Equipamento	Peitoral ou um Linothorax, botas, um capacete e um grande escudo redondo e côncavo. Os hoplitas estavam armados com longas lanças, que eram significativamente mais longas que as lanças persas, e uma espada.	As tropas geralmente estavam armadas com um arco, uma 'lança curta' e uma espada ou machado, e carregavam um escudo de vime. Eles usavam um colete de couro.

Tabela 2: Resumo da batalha das Termópilas.

A Batalha de Termópilas foi uma batalha ocorrida durante a Guerra do Peloponeso, em 480 a.C. É considerada uma das mais importantes batalhas da história da Grécia Antiga, pois foi nela que uma pequena força de 300 espartanos liderados pelo rei Leônidas, conseguiu deter o exército persa de Xerxes, composto por centenas de milhares de soldados, por três dias. A batalha ocorreu durante 3 dias e seguiam a estratégia de afunilar o exército inimigo devido a sua grande quantidade e sua baixa qualidade, o exército espartano composto também de alguns exércitos gregos conseguiriam lutar somente se pudessem garantir um confronto direto na linha de frente, onde a vantagem numérica inimiga não fizesse diferença. Um mapa representativo pode ser visto na figura 6.

No primeiro dia da batalha, Xerxes ordenou que 5.000 arqueiros atiram uma barragem de flechas, mas elas foram ineficazes; atiraram a pelo menos 100 metros de distância, segundo os estudiosos modernos. Depois disso, os persas logo lançaram um ataque frontal, em ondas de cerca de 10.000 homens, sobre a posição grega. Os gregos lutaram em frente

ao muro da Fócida, na parte mais estreita do passe, o que lhes permitiu usar o menor número possível de soldados. A falange grega padrão foi utilizada, na qual os homens formaram uma parede de escudos sobrepostos e pontas de lança em camadas salientes dos lados dos escudos, o que teria sido altamente eficaz desde que abrangesse a largura da passagem.

Ainda no mesmo dia Xerxes envia suas melhores tropas para o confronto, os Imortais, um corpo de elite de 10.000 homens. Entretanto, os Imortais não se saíram melhor que os Medos, e não conseguiram fazer nenhum avanço contra os gregos. Os espartanos supostamente usaram uma tática de retirada fingida, e depois viraram e mataram as tropas inimigas quando correram atrás deles.

No segundo dia, Xerxes novamente enviou a infantaria para atacar o passe, "supondo que seus inimigos, sendo tão poucos, estavam agora incapacitados por ferimentos e não podiam mais resistir". Entretanto, os persas não tiveram mais sucesso no segundo dia do que no primeiro. Xerxes finalmente parou o ataque e se retirou para seu acampamento.

Já no terceiro os persas ficaram cientes de um caminho através das montanhas que contornava os gregos e os colocariam em uma vantagem estratégica, ao saber disso o exército grego recuou ficando somente os 300 de esparta em batalha lutando contra a emboscada persa.

Apesar de terem lutado bravamente, os gregos perderam para os persas após 3 dias do início da batalha.

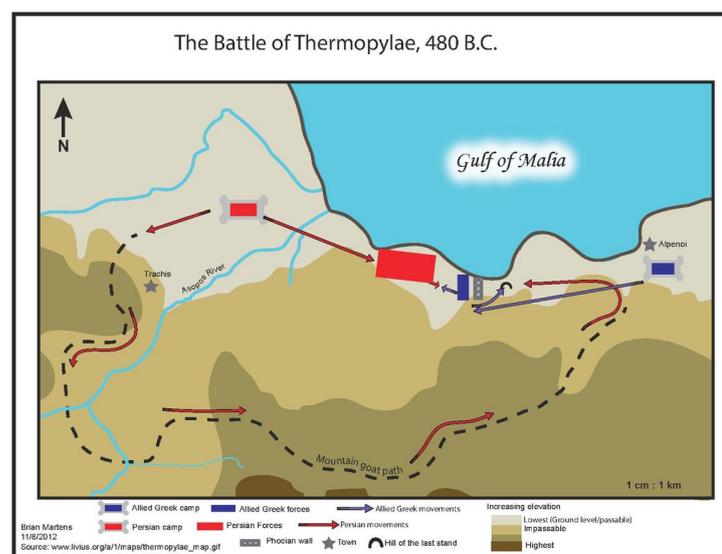


Figura 6: A batalha de Termópilas.

Fonte: [9]

3.1.3 Batalha de Canas (216 a.C.)[2]

Participantes: romanos x cartagineses.

Lado vitorioso: cartagineses.

Clima: mediterrâneo.

Terreno: campo aberto.

Duração: durou 2 dias, começando no segundo dia, sendo que a briga foi praticamente instantânea.

	Romanos	Cartagineses
Objetivos	aniquilação	aniquilação
Soldados	70000 infantaria + 6000 cavalos	40000 infantaria + 10000 cavalos
Perdas	50000	8000
Suprimentos	bastante	limitado
Estratégia Militar	Centro da formação bem forte para dividir o exército inimigo no meio.	Deixar o inimigo entrar pelo centro para fechar ele por completo, ganhar nos flancos com uma cavalaria mais forte.
Equipamento	Dardos pesados e lanças, armadura de bronze.	Equipamento variado, armadura de pano.

Tabela 3: Resumo da batalha de Canas.

A batalha de Canas foi um confronto importante na história da Roma Antiga, que ocorreu em 2 de agosto de 216 a.C. na cidade de Canas, na Itália central. Nesta, as forças romanas lideradas pelo cônsul Marco Atílio Régulo enfrentaram o exército cartaginês comandado pelo general Aníbal Barca. A batalha foi um dos primeiros grandes confrontos da Segunda Guerra Púnica.

O posicionamento convencional para os exércitos da época era a colocação da infantaria no centro, com a cavalaria em duas asas de flanco. Os romanos seguiam esta convenção a risca, mas escolheram profundidade extra ao invés de amplitude para a infantaria na esperança de romper rapidamente o centro da linha de Aníbal. O estilo típico da guerra antiga era derramar continuamente infantaria no centro e tentar dominar o inimigo. Aníbal compreendeu que os romanos travam suas batalhas desta maneira, e pegou seu exército em menor número e os colocou estrategicamente ao redor do inimigo para ganhar uma vitória tática, representado na figura 7.

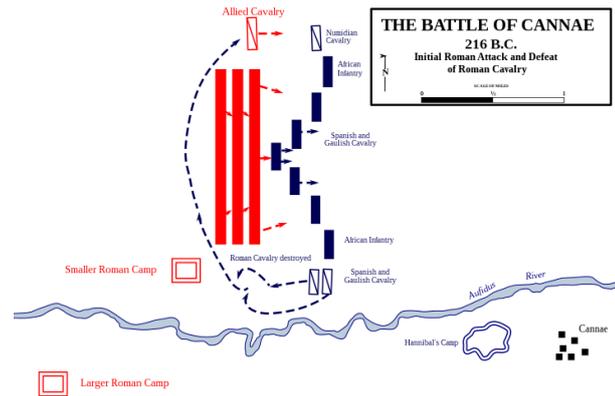


Figura 7: Primeira fase da batalha de Canas.

Fonte: [10]

O exército central batia em retirada de forma lenta, atraindo o centro romano para dentro do combate, enquanto o exército de Aníbal esperava sua cavalaria terminar o confronto com a cavalaria romana. Fazendo assim um movimento de pinça e colocando os romanos em uma armadilha. No momento em que a cavalaria romana recuou para a cavalaria cartaginesa, foi começado um ataque em todos os flancos dos soldados romanos assim fazendo com que estes tivessem que brigar não somente um, mas sim em quatro flancos ao mesmo tempo, representado na figura 8.

A vitória foi completa do lado dos cartagineses, apesar de seu menor número de infantaria, pois souberam utilizar sua cavalaria em maior quantidade a seu favor.

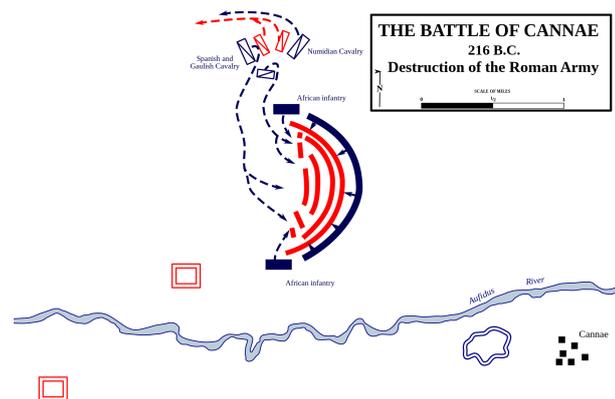


Figura 8: Segunda fase da batalha de Canas.

Fonte: [11]

3.1.4 Batalha do Lago Trasimeno (217 a.C.)[2]

Participantes: romanos x cartagineses.

Lado vitorioso: cartagineses.

Clima: frio com névoa.

Terreno: Ao lado de um lago com uma mata bem densa.

Duração: Foi uma emboscada e totalmente planejada pelos cartagineses, sendo que a briga foi praticamente instantânea.

	Romanos	Cartagineses
Objetivos	aniquilação	aniquilação
Soldados	30000	40000 infantaria + 10000 cavalos
Perdas	30000	2500
Suprimentos	bastante	bastante
Estratégia Militar	Sem estratégia específica.	Recuar e atacar a cidade principal.
Equipamento	Dardos pesados e lanças, armadura de bronze.	Equipamento variado, armadura de pano.

Tabela 4: Resumo da batalha do Lago Trasimeno.

A batalha do Lago Trasimeno foi uma batalha importante que ocorreu durante a Segunda Guerra Púnica, em 21 de junho de 217 a.C. Nesta, o exército romano, liderado pelo cônsul Gaius Flaminius Nepos, enfrentou o exército cartaginês, comandado pelo general Aníbal Barca. A batalha ocorreu nas margens do lago Trasimeno, na região central da Itália.

Aníbal sabia que um exército romano iria passar pela lateral do lago Trasimeno e preparou uma emboscada, deixando alguns soldados no meio do caminho para enganar as tropas romanas, representado na figura 9. Aníbal esperou até que as tropas romanas entrassem em contato com suas próprias forças, para então fazer soar suas trombetas de bronze e dar início à batalha. Os gauleses e a cavalaria pesada vieram das escarpas ocidentais e atacaram o flanco esquerdo das legiões romanas, cercando-as. Isso pegou o exército consular desprevenido e sem tempo de organizar uma ordem de batalha. A batalha foi caótica e desorganizada, com os romanos sendo mortos ou forçados a recuar para as margens do lago. No final, o exército romano foi derrotado pelo exército cartaginês.

Esta batalha foi uma aniquilação completa do exército romano e uma vitória e com poucas baixas para o exército de Aníbal.

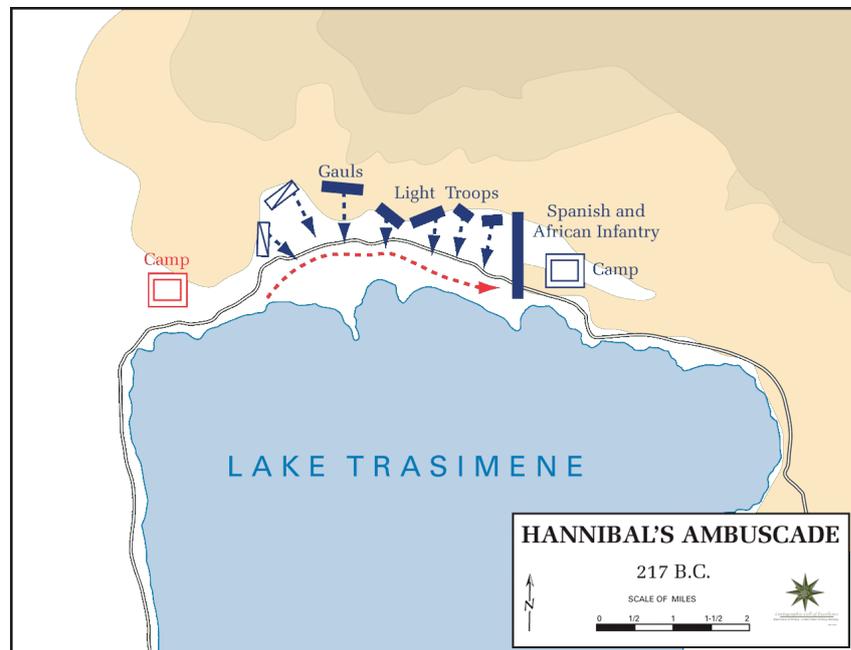


Figura 9: A batalha do Lago Trasimeno.

Fonte: [12]

3.1.5 Batalha do Rio Trebbia (218 a.C.)[2]

Participantes: romanos x cartagineses.

Lado vitorioso: cartagineses.

Clima: frio com neve.

Terreno: planície com um rio ao lado com mato alto perto do rio.

Duração: vários dias, sendo que a briga foi praticamente instantânea.

	Romanos	Cartagineses
Objetivos	aniquilação	aniquilação
Soldados	36000 infantaria + 4000 cavalos	20000 infantaria + 10000 cavalos + 36 elefantes
Perdas	28000	4000
Suprimentos	baixo	alta
Estratégia Militar	Centro forte para quebrar o centro inimigo e pegar as laterais depois.	Ganhar da cavalaria do flanco para depois ajudar o centro pelas laterais e com tropas escondidas atacar a parte posterior.
Equipamento	Dardos pesados e lanças, armadura de bronze.	Equipamento variado, armadura de pano.

Tabela 5: Resumo da batalha do Rio Trebbia.

A batalha de Trebbia foi uma das primeiras grandes batalhas da Segunda Guerra Púnica, travada entre o exército romano e o exército cartaginês liderado pelo general Aníbal. Esta aconteceu no inverno de 218 a.C. na planície alagada do rio Trebbia, perto da cidade de Placentia na Itália. Aníbal, famoso por sua habilidade militar estratégica, planejou uma emboscada contra os romanos, como pode ser visto na figura 9.

Aníbal, liderou seu exército em uma emboscada bem-sucedida contra o exército romano. Ele enviou seus cavalos numidianos para provocar uma luta enquanto o resto de sua tropa se preparava para o combate. Quando os numidianos se retiraram, o exército romano os perseguiu e foi encontrado pela tropa cartaginesa já organizada para a batalha. A luta se transformou em um combate entre cavalos, mas com a vantagem dos numidianos recusando-se a se retirar, o exército romano foi forçado a se enfrentar com a tropa inteira de Aníbal.

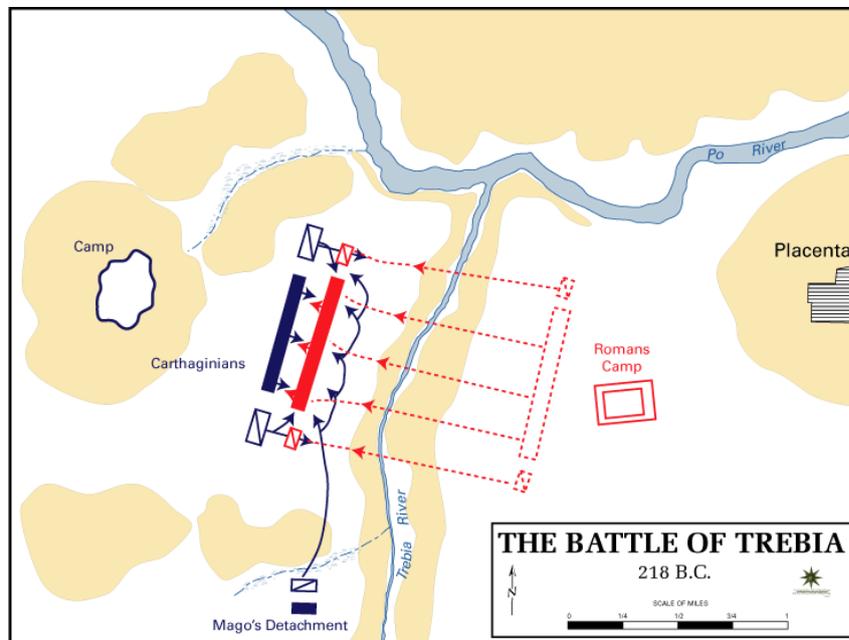


Figura 10: A batalha do Rio Trebbia.

Fonte: [13]

3.1.6 Batalha de Farsalos (48 a.C.)[2]

Participantes: romanos (Pompeu) x romanos (Júlio César).

Lado vitorioso: Júlio César.

Clima: mediterrâneo.

Terreno: planície com um rio ao lado.

Duração: a briga foi praticamente instantânea.

	Pompeu	Júlio César
Objetivos	aniquilação	aniquilação
Soldados	22000 legionários + 1000 cavalos	35000 legendários + 5000 cavalos
Perdas	600	6000
Suprimentos	bastante	bastante
Estratégia Militar	Segurar no meio, acabar com a cavalaria do inimigo para que a sua cavalaria mais um exército escondido para acabar com a cavalaria possa flanquear a lateral do inimigo.	Segurar posição e ganhar no número.
Equipamento	Dardos pesados e lanças, armadura de bronze.	Dardos pesados e lanças, armadura de bronze.

Tabela 6: Resumo da batalha de Farsalos.

A Batalha de Farsalos foi uma batalha importante que aconteceu durante as Guerras Civis Romanas no ano de 48 a.C. Ela foi travada entre as forças do general romano Júlio César e as forças do general Pompeu, apoiadas por senadores romanos opositores a César.

Pompeu ordenou que seus homens não avançassem, mas sim que esperassem até que as legiões de César entrassem em combate corpo a corpo; o conselheiro de Pompeu, Gaius Triarius, acreditava que a infantaria de César ficaria cansada e entraria em desordem se fosse forçada a cobrir duas vezes a distância esperada de uma marcha de batalha. Além disso, as tropas estacionárias eram esperadas para se defender melhor contra as lanças. Isto pode ser visto na figura 11.

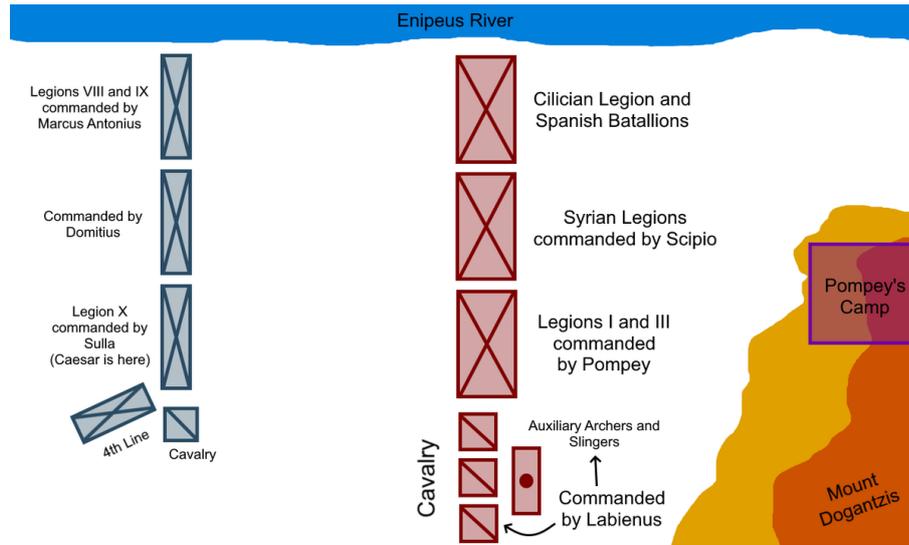


Figura 11: Primeira fase da batalha de Farsalos.

Fonte: [14]

Júlio César usou a vantagem do rio na sua lateral e, com sua cavalaria junto e uma quarta linha de soldados, atacou a cavalaria inimiga, como poder ser visto na figura 12. Com a cavalaria inimiga batendo em retirada, Júlio César usou o rio a seu favor e pressionou as tropas inimigas, não dando escapatória para eles a não ser fugir.

A batalha terminou com a vitória de César, devido a sua estratégia de forçar o inimigo contra a parede.

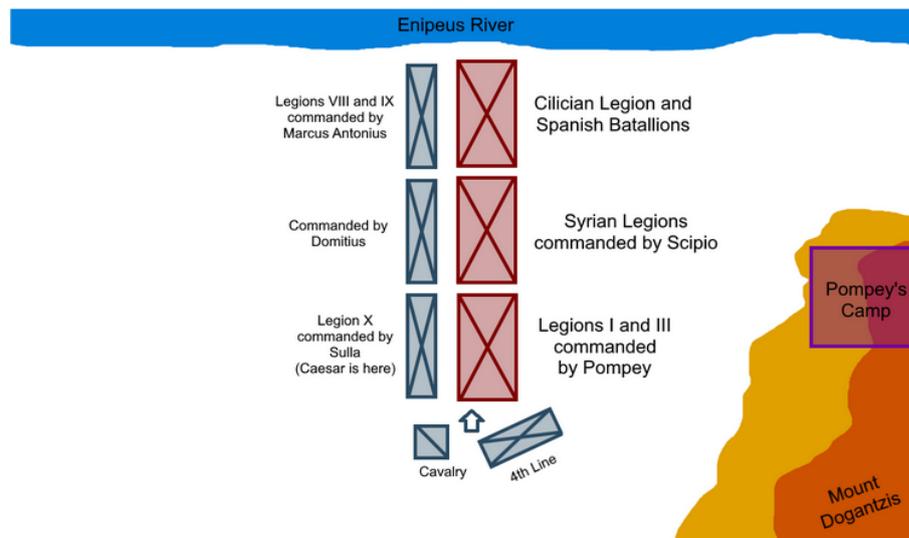


Figura 12: Segunda fase da batalha de Farsalos.

Fonte: [15]

3.1.7 Batalha de Gaugamela (331 a.C.)[3]

Participantes: macedônia x persas.

Lado vitorioso: macedônia.

Clima: seco e suave.

Terreno: planície.

Duração: a briga foi praticamente instantânea

	Macedônia	Persas
Objetivos	Matar Darius I	aniquilação
Soldados	15000 cavalos + 310000 infantaria	78500 infantaria + 1500 arqueiros + 20000 cavalos
Perdas	1000	40000
Suprimentos	bastante	bastante
Estratégia Militar	Abrir a batalha pelas laterais e esperar o centro de Darius atacar, deixando ele exposto.	Ver onde o exército de Alexandre estiver mais fraco ir atacar.
Equipamento	Peitoral ou um Linothorax, botas, um capacete e um grande escudo redondo e côncavo. Os hoplitas estavam armados com longas lanças, que eram significativamente mais longas que as lanças persas, e uma espada.	As tropas geralmente estavam armadas com um arco, uma 'lança curta' e uma espada ou machado, e carregavam um escudo de vime. Eles usavam um colete de couro.

Tabela 7: Resumo da batalha de Gaugamela.

A Batalha de Gaugamela foi uma das mais importantes batalhas da história antiga. Ocorreu em 331 a.C. e foi travada entre o exército do Império Persa, liderado pelo rei Darius III, e o exército da Macedônia, liderado pelo rei Alexandre, o Grande. A batalha foi decisiva para a expansão do império macedônio e para a queda do império persa.

A princípio, Alexandre, sabendo do seu menor número de tropas, planejou dissipar as tropas inimigas, fazendo com que elas brigarem em frentes diferentes e ficou atraindo-as para que se separarem ao máximo, visto na figura 13.

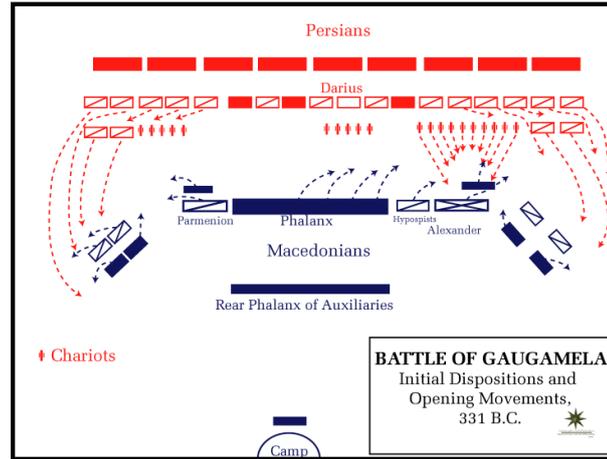


Figura 13: Primeira fase da batalha de Gaugamela.

Fonte: [16]

Com as tropas inimigas dispersas, o próprio Alexandre armou um ataque frontal direto ao rei persa, mirando em sua eliminação. Quebrando a barreira de soldados que os separava, ele se aproximou do rei Darius III, como pode ser visto na figura 14. Com isso Darius partiu em retirada imediata, deixando suas tropas sem um general e com moral muito baixa. Com o campo de batalha em caos, boa parte das tropas persas, sem liderança, acabou fugindo ou se rendendo.

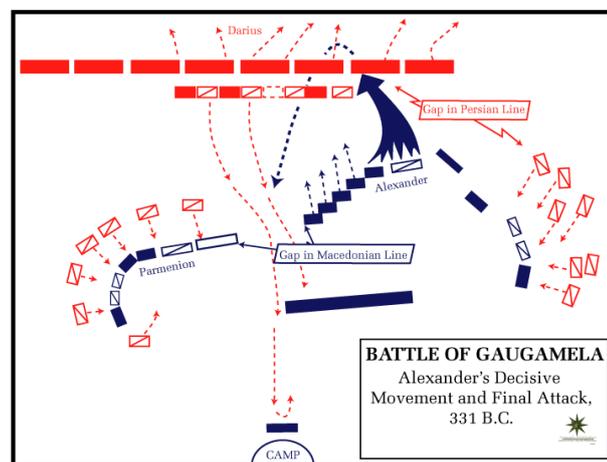


Figura 14: Segunda fase da batalha de Gaugamela.

Fonte: [17]

3.1.8 Batalhas similares

Vale lembrar que as batalhas listadas são apenas as escolhidas para cenários do simulador. No entanto, outras também foram estudadas, para melhor compreensão do tema. Em especial, algumas se destacam por sua similaridade com batalhas já presentes na lista, tendo premissas e resultados muito similares. Estas batalhas são listadas a seguir.

- a batalha do Portão Persa, similar à batalha das Termópilas;
- e a batalha de Isso, similar à batalha de Farsalos.

3.2 Regras do simulador

Foi necessário também fazer uma definição geral de como o usuário poderia interagir com o simulador.

Estas regras podem ser divididas em duas principais categorias: aquelas relevantes durante o preparo de uma simulação, e as de seu andamento.

3.2.1 Preparo

Para a configuração do simulador, o usuário selecionará entre alguns cenários predefinidos. Estes representam batalhas históricas conhecidas, como a batalha de Termópilas, para que possam facilmente ser simuladas e estudadas.

Além disso, será possível modificar estes cenários, ou até mesmo criar um completamente diferente, alterando-se as variáveis comentadas anteriormente, na seção 2.2.

3.2.2 Andamento

Durante o andamento da simulação o usuário efetivamente vira um espectador, não podendo tomar nenhuma ação que diretamente influencie a batalha, como trocar as variáveis definidas anteriormente ou adicionar ou remover tropas.

No entanto, ainda haverão algumas opções para assistir e analisar sua simulação. Algumas possibilidades incluem:

- mover a câmera;
- rotacionar o mapa;

- mudar o zoom;
- e pausar ou acelerar a simulação.

3.3 Apresentação

Foi decidido que a simulação será apresentada em 3D, com o usuário controlado uma câmera voadora. Desse modo, é possível se ter uma melhor visualização do campo de batalha e da distribuição de tropas neste.

Além disso, também foi definido que o estilo utilizado para os modelos será *low poly*. Além de trazer certa personalidade à simulação, há diversos modelos neste estilo sob licenças *Creative Commons*.

3.4 Documentos técnicos

Com a pesquisa teórica feita, e as regra e a apresentação do simulador definidas, foi desenvolvido um documento de design técnico deste. Este documento segue os padrões da indústria de jogos e simuladores, especificando classes e funções necessárias para o funcionamento do programa. Assim, foram desenvolvidos diagramas para as principais classes do simulador, assim como protótipos de telas para este.

Duas das principais classes para o funcionamento são aquelas representativas das tropas e dos comandantes, **Troop** e **Commander** respectivamente. Estas são exibidas na figura 15, incluindo suas principais variáveis. **Commander** é uma classe filha de **Troop** porque os comandantes necessitarão de todas as funcionalidades básicas das tropas, assim como outras mais específicas para que possam comandar seus exércitos.

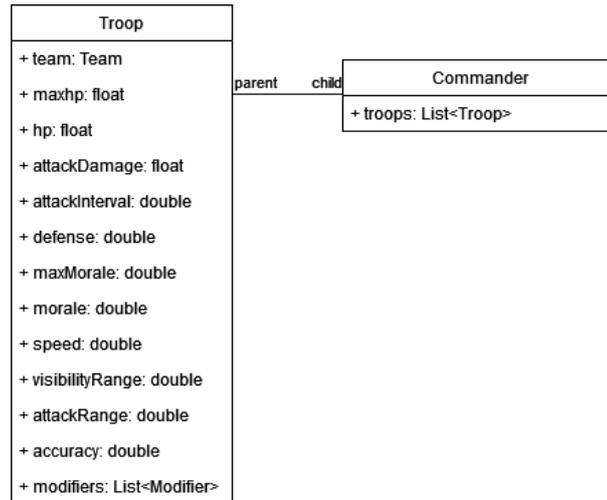


Figura 15: Diagrama de classe das tropas e dos comandantes.

Fonte: do autor.

Além das tropas, é importante ter o modelos das classes de terreno e tempo. Estes diagramas podem ser observados na figura 16.

O tempo foi dividido em duas partes: uma classe mais simples, *Weather*, que somente contém os efeitos relevantes para cada tipo de tempo, e um controlador, *WeatherController*, que é responsável por realmente aplicar estes efeitos. Este último é um *singleton* incompleto, para que possa ser chamado por qualquer objeto sem a necessidade de existir uma referência explícita em outras classes.

Já os terrenos, representados pela class *Terrain*, foram modelados de forma diferente. Como serão espalhados pelo mapa, cada objeto necessita funções próprias para aplicação de seus modificadores. Além disso, cada um tem um objeto *Collider*, que representa a área na qual este tem influência.

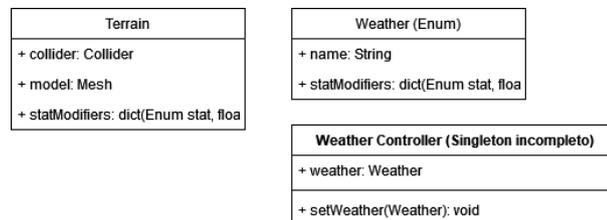


Figura 16: Diagrama de classe dos terrenos e dos climas.

Fonte: do autor.

Quanto ao menu de preparo da simulação, um esboço deste pode ser visto na figura 17, junto do diagrama das classes que o controlam. Neste menu, podem ser selecionadas as civilizações e o mapa a serem simulados. Caso o usuário deseje, no entanto, é possível selecionar um cenário pronto, de modo que a escolha de mapa e civilizações sejam automáticas.

A classe `MenuController` implementa as funcionalidades da interface deste menu. É nela que são programadas as funções dos botões e seletores da tela. Qualquer informações relevante é passada para a classe `MenuSelections`, que é um *singleton* completo, para que o objeto não seja destruído durante a troca de cenas na Unity.

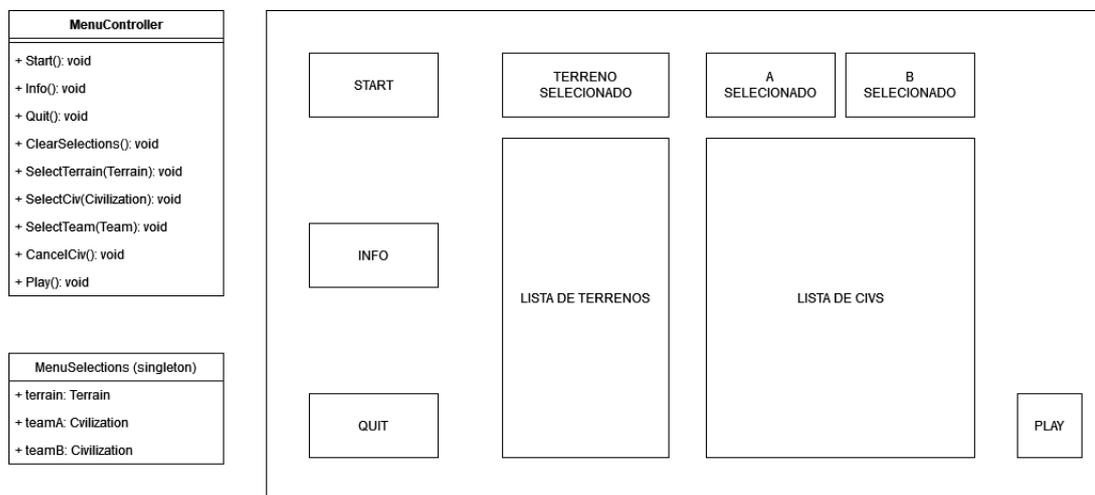


Figura 17: Diagrama de classe do *Menu Controller*, e protótipo da tela de seleção de civilizações e terrenos.

Fonte: do autor.

Por fim, a figura 18 mostra esboços de tela para a simulação propriamente dita, assim como diagramas das classes necessárias para seu controle. A ideia inicial era de que fossem mostradas na interface quaisquer informações relevantes da simulação, como visões gerais de ambos os exércitos e do clima. Também há botões para controle da velocidade da simulação, assim como um botão para voltar ao menu inicial.

A classe `GameModeController` contém as funcionalidades da simulação propriamente dita, como os controles da velocidade de reprodução, de pausa/retomada, e de finalização desta. Esta é um *singleton* incompleto, para que possa ser referenciada de qualquer objeto na cena, sem que seja necessária um referência explícita a ela.

Por fim, a classe `CameraController` contém a lógica necessária para controle da camera utilizada pelo usuário. É nela que são processados os comandos do usuário, como movimentação e rotação da câmera.

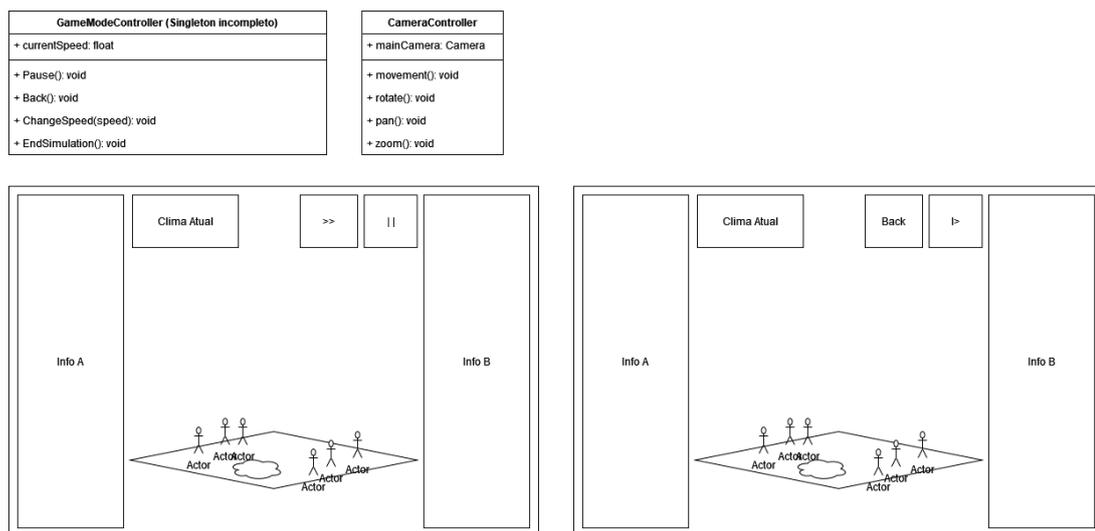


Figura 18: Diagrama de classe do *Player Controller* e *Camera Controller*, assim como protótipo da tela da simulação em andamento.

Fonte: do autor.

3.5 Desenvolvimento

Uma vez que a arquitetura e os esboços da interface do simulador estavam definidas, foi possível iniciar o desenvolvimento propriamente dito do simulador. Para organização do trabalho do grupo, foi criado um cronograma, como na figura 19, que era atualizado semana a semana, com a divisão de tarefas e o tempo esperado para cada uma. Estas tarefas eram divididas conforme a disponibilidade e especialidade de cada integrante, e foram organizadas de modo que aquela que são de suma importância fossem completadas primeiro.

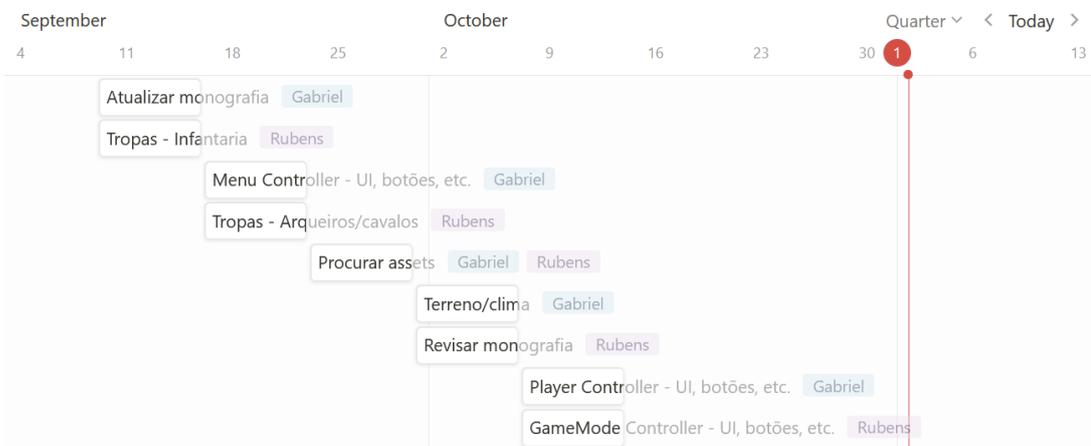


Figura 19: Parte do cronograma criado.

Fonte: do autor.

4 ESPECIFICAÇÃO DE REQUISITOS

Nesta seção é apresentado o levantamento dos requisitos para o projeto. Dado que a ideia principal deste é criar simulações verossímeis das batalhas, a pesquisa feita sobre estas foi a principal referência para esse processo.

4.1 Requisitos Funcionais

Os requisitos funcionais do projeto se dão por meio das funcionalidades mínimas esperadas no simulador.

Escolha de cenário: Para que seja possível simular diversas batalhas, é esperado que haja um menu de seleção de cenários, onde cada item representa uma das batalhas estudadas.

Representações lógicas: É esperado que, apesar de não necessariamente serem visualmente representativos, existam representações lógicas dos terrenos e do tempo local no mapa de cada cenário.

Funcionalidades das tropas: Para que a simulação realmente possa ocorrer, é necessário que as tropas tenham funções de movimentação e ataque.

Fim da simulação: Quando o objetivo principal de um dos exércitos for cumprido, é preciso que a simulação termine, anunciando qual lado foi o vencedor.

4.2 Requisitos Não Funcionais

Os requisitos não funcionais do projeto são referentes aqueles que não se relacionam diretamente com funcionalidades, mas são importantes para a qualidade e usabilidade do projeto.

Fidelidade: Este é o principal requisito não funcional do projeto. Para que seja considerado fiel à realidade, o simulador deve ter uma alta taxa de acerto quanto ao lado vitorioso de uma batalha. Assim, definiu-se que esta taxa deve ser de, no mínimo, 80%.

Usabilidade: O simulador deve ter uma interface de fácil navegação, mostrando claramente o que cada botão faz e como atingir certos objetivos. Em especial, é necessário que o preparo e o andamento da batalha sejam bem comunicados.

5 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Nesta seção, descreve-se o processo desenvolvimento e implementação do projeto como um todo.

5.1 Tecnologias Utilizadas

Para desenvolvimento do simulador, foi utilizada a *game engine* Unity. Esta é uma plataforma e de desenvolvimento com uma grande variedade de ferramentas e recursos para agilizar o desenvolvimento do simulador, permitindo que este pudesse vir a ser mais complexo. Além disso, conta com uma loja de *assets*, a Unity Asset Store, que disponibiliza diversos modelos e efeitos, tanto visuais quanto sonoros, muitos dos quais são de graça. Dado esta escolha, o código do simulador foi escrito em *C#*, a linguagem utilizada pela Unity.

Além disso, o código foi disponibilizado em um repositório do GitHub [18], para desenvolvimento em paralelo pelos integrantes do grupo.

5.2 Projeto e Implementação

Quanto à implementação em si, esta foi dividida em algumas categorias: o desenvolvimento das tropas; dos tempos e terrenos e seus controladores; e das telas em si.

5.2.1 Tropas

As tropas foram uma das primeiras partes desenvolvidas para o projeto, dado a importância de seu bom funcionamento. A seguir são descritas algumas das principais decisões para sua arquitetura.

5.2.1.1 Parâmetros

Cada tropa tem características definidas por sua classe: infantaria, arqueiros, ou cavalaria. Os principais parâmetros a serem considerados são:

Vida: Se refere a quantos ataques uma tropa pode receber antes de ser considerada derrotada;

Dano de ataque: Representa a quantidade de vida do inimigo removida a cada ataque, diminui conforme a vida cai;

Intervalo de ataque: Representa o tempo entre ataques serem executados;

Defesa: Esta causa uma redução linear no dano recebido;

Raio de visão: É equivalente à distância máxima na qual tropas inimigas são detectadas;

Alcance: É equivalente à distância máxima na qual a tropa pode atacar;

Acurácia: Representa a porcentagem de acertar um ataque, especialmente no caso de tropas de longo alcance;

Velocidade: Se refere à velocidade máxima de movimento da tropa;

Moral: Esta causa reduções no dano da tropa, e pode fazer com que a tropa seja considerada derrotada quando muito baixa, emulando sua fuga.

Variantes de uma tropa podem ser criados facilmente com a alteração destes parâmetros. Uma cavalaria bem treinada, por exemplo, teria mais velocidade de movimento que a padrão.

Cada tipo de tropa é controlado por uma árvore de decisão. Esta é específica para sua classe, e leva em consideração apenas aquilo que a tropa tem em seu campo de visão ou informações recebidas de outras tropas. Foram criadas a partir das táticas presentes nas batalhas estudadas. Esquemas representativos destas árvores podem ser vistos nas figuras 20, 21 e 22.

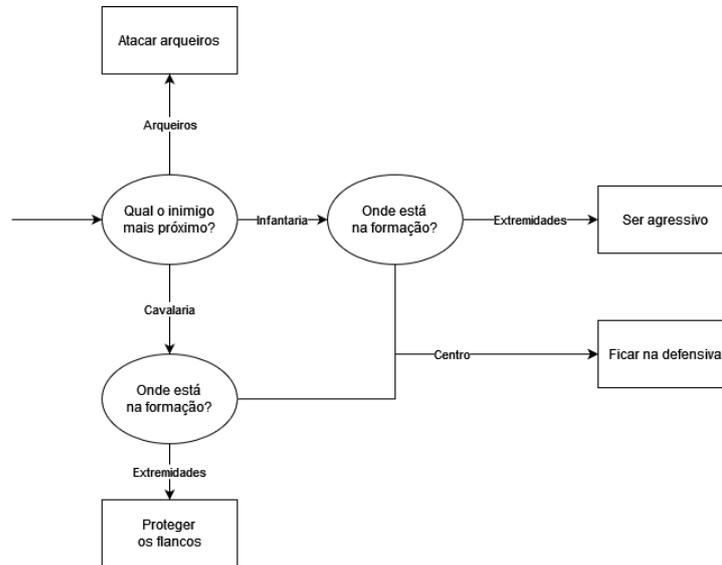


Figura 20: Árvore de decisão da infantaria.

Fonte: do autor.

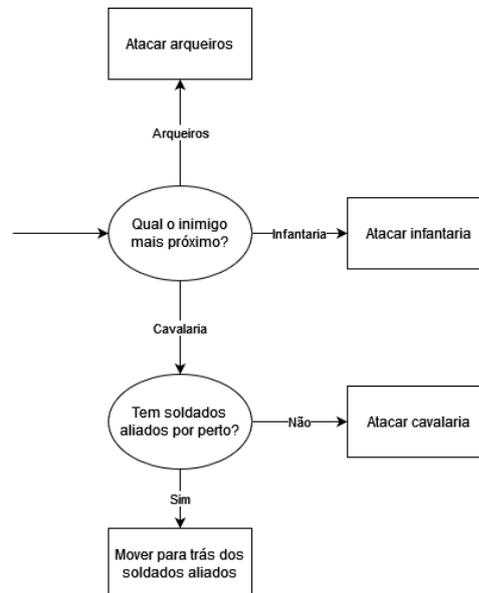


Figura 21: Árvore de decisão dos arqueiros.

Fonte: do autor.

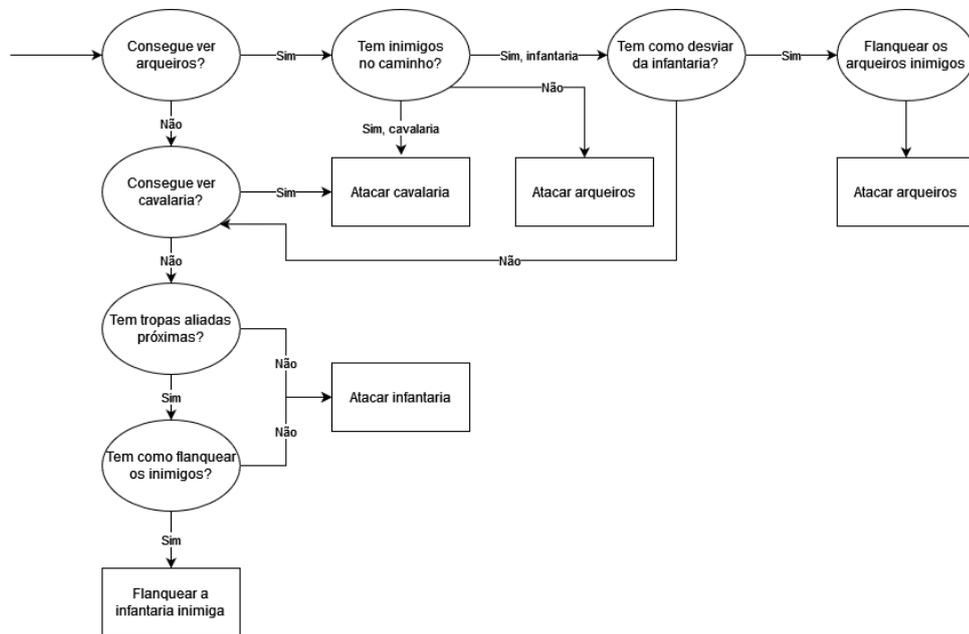


Figura 22: Árvore de decisão da cavalaria.

Fonte: do autor.

5.2.1.2 Comandante

Cada exército tem um comandante. Este é uma tropa, como normal, mas também tem a função de passar ordens para as outras tropas, efetivamente tomando as decisões estratégicas por seu exército. Desse modo, o comandante também conta com uma estatística extra: experiência. Esta representa a experiência do comandante em batalha, e, caso seja muito baixa, pode causar que este tome uma decisão errada.

A tomada de decisão estratégica do comandante também é feita por uma árvore de decisão, mostrada em 23. Neste caso, as informações disponíveis ao comandante é qualquer informação que uma de suas tropas sabe.

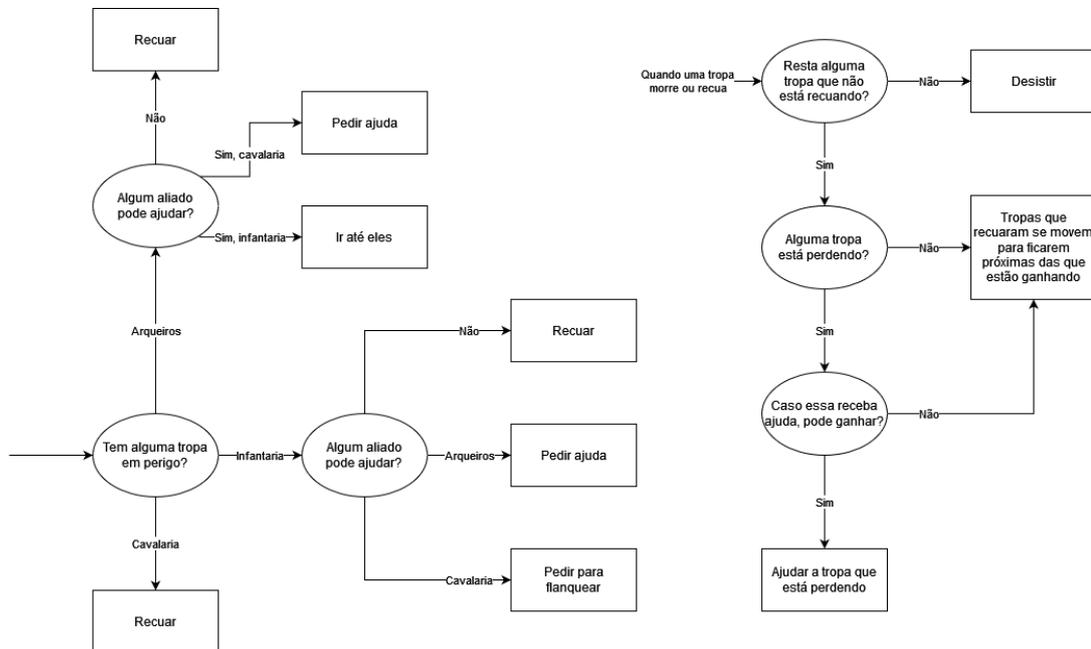


Figura 23: Árvore de decisão do comandante.

Fonte: do autor.

5.2.2 Variáveis de batalha

Para uma melhor análise de como as variáveis da simulação devem afetar as decisões tomadas pelas tropas, foram feitas pesquisas sobre estas.

Um ponto importante é que não há registros de batalhas, seja da antiguidade ou modernas, em condições muito adversas. Isto se dá porque, independente de quaisquer vantagens, haveriam muitas perdas de ambos os lados, portanto não sendo uma decisão estrategicamente boa.

Vale notar também que não há muitos registros sobre o efeito destas condições na época estudada. Mesmo para batalhas modernas, há grande dependência de relatos individuais de soldados que participaram destas. Desse modo, enquanto estes relatos foram usados como ponto de início, grande parte das conclusões nesta seção foram definidas empiricamente.

5.2.2.1 Tempo

O tempo foi implementado como uma condição global, que afeta todas as tropas presentes na simulação. A seguir, são descritos os efeitos esperados de cada tempo implementado.

Tempo limpo: Este é considerado o tempo padrão.

Chuva: Quando há chuva, há menor visibilidade. Além disso, a moral das tropas também pode ser afetada. Suprimentos também podem ser afetados, dependendo de como são guardados e mantidos. Equipamentos, em especial de metal, também podem sofrer degradação durante batalhas mais longas. Atrapalha tiro de arco e flechas.

Frio: Em climas frios, a dificuldade de se manter aquecido causa uma maior necessidade de suprimentos, assim como menor possibilidade de obtenção destes dos arredores. No entanto, equipamentos feitos para o frio (com diversas camadas de roupas, por exemplo) podem aliviar esta situação.

Neve: Quando há neve, são combinadas condições de frio e chuva.

Ventos fortes: Com ventos muito fortes, a precisão de arqueiros e outras tropas de longo alcance é afetada.

Névoa: Em condições de névoa, o limite de visibilidade e alcance das tropas é muito afetado. Isto também cria espaço para estratégias de emboscada.

5.2.2.2 Terreno

Os terrenos foram implementados como presentes em apenas pequenas áreas do mapa. Deste modo, é possível simular uma região com uma grande diversidade geográfica.

Campo aberto: Este é considerado o terreno padrão.

Florestas: Quando há florestas, as árvores diminuem a visibilidade dos exércitos e também oferecem maior proteção contra ataques à distância, dependendo da densidade destas. Vale ressaltar que, em selvas mais tropicais, a umidade presente no ar acelera o processo de infecção de feridas, assim como o processo de decomposição dos corpos.

Montanhas: Em terrenos montanhosos, há maior possibilidade de emboscadas, devido à existência de cavernas e à verticalidade do campo de batalha. Além disso, quanto maior a altitude, menor a densidade do ar, podendo causar falta de oxigênio em soldados menos preparados. Vale notar também a possibilidade de desastres, como avalanches e deslizamentos, mesmo não existindo planos para a implementação destes.

Deserto: Em desertos, a falta de umidade pode afetar a moral das tropas, assim como o consumo de suprimentos. Equipamentos também podem ser afetados em batalhas mais longas. Quando são desertos de areia, geralmente o terreno é plano, mas podem haver dunas móveis ou mesmo montanhas.

Pântano: Em locais pantanosos ou com grande concentração de lama, a movimentação das tropas pode sofrer uma diminuição de velocidade, ou mesmo ser parada por completo.

Além dos terrenos descritos, também é importante notar que a disposição destes no espaço pode vir a criar características emergentes na simulação. Por exemplo, quando há duas cadeias de montanhas próximas uma da outra, é criado um desfiladeiro entre elas. Em situações como esta, espera-se que os efeitos causados pelos terrenos presentes sejam o suficiente para que a estratégia adotada pela simulação seja alterada.

5.2.2.3 Equipamentos

Como há uma grande variedade de equipamentos utilizados na época escolhida, é necessário uma categorização destes, para generalizá-los o máximo possível, sem perder informações importantes destes. Desse modo, foi definido que cada civilização relevante teria seus próprios equipamentos. Estes variam apenas as estatísticas de cada tropa, aumentando ataque e diminuindo velocidade de movimento, por exemplo.

5.2.3 Telas

As telas foram desenvolvidas dentro do Unity, utilizando de suas tecnologias, como os *canvas*, nos quais se pode facilmente adicionar elementos de interface, como botões e textos.

5.2.4 Protótipo

O protótipo desenvolvido para o projeto conta com todos os requisitos funcionais, desde as tropas, terrenos e tempos, até as diversas telas utilizadas para o preparo e simulação dos cenários. Uma captura de tela deste está na figura 24.

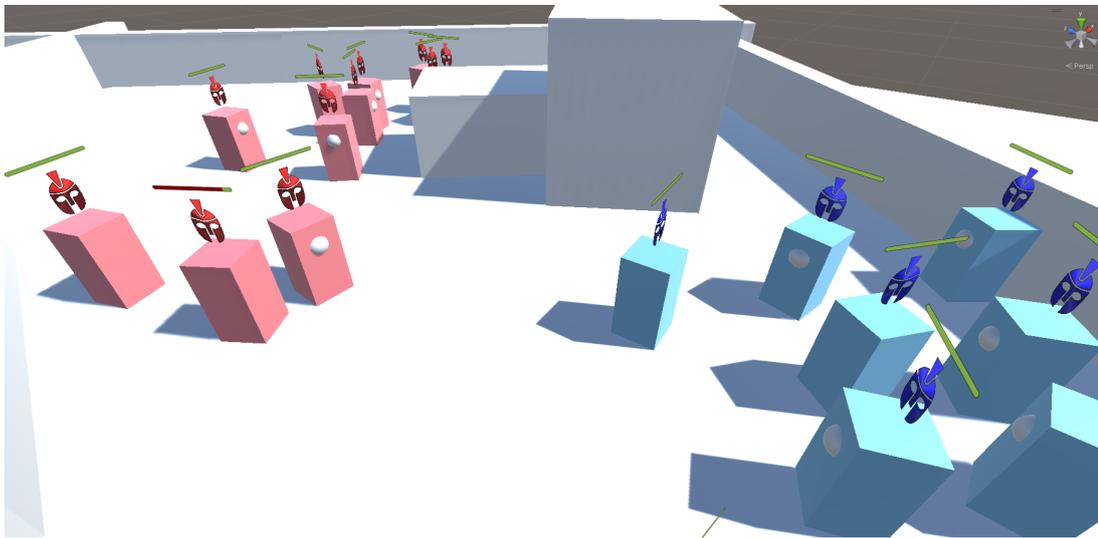


Figura 24: Captura de tela do protótipo desenvolvido.

Fonte: do autor.

No entanto, devido à sua complexidade, o projeto não conta com diversas possíveis melhorias visuais. Isto inclui melhores modelos para os mapas e tropas, assim como efeitos visuais e animações para o tempo local, ataques das tropas, e outros.

5.3 Testes e Avaliação

Para os testes de fidelidade do simulador, cada um dos cenários descritos na seção 3.1 foi rodado no simulador 100 vezes. No entanto, devido à grande quantidade de informações coletadas sobre elas, as batalhas e Maratona, seção 3.1.1, e Termópilas, seção 3.1.2, foram escolhidas como as principais referências a serem testadas. Capturas de telas de suas simulações podem ser vistas nas figuras 25 e 26.

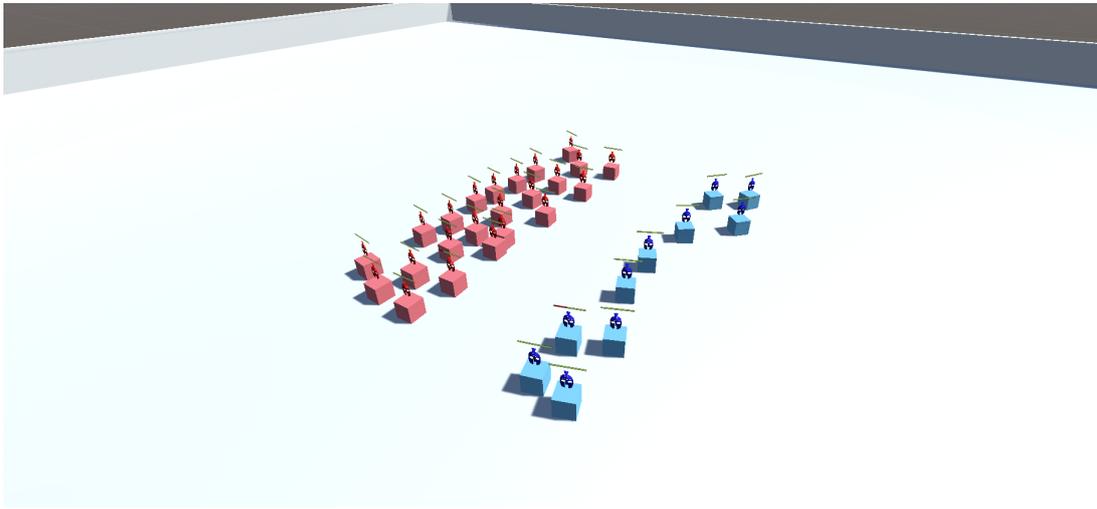


Figura 25: Captura de tela do preparo da simulação de maratona, com cada tropa contendo 1000 soldados.

Fonte: do autor.

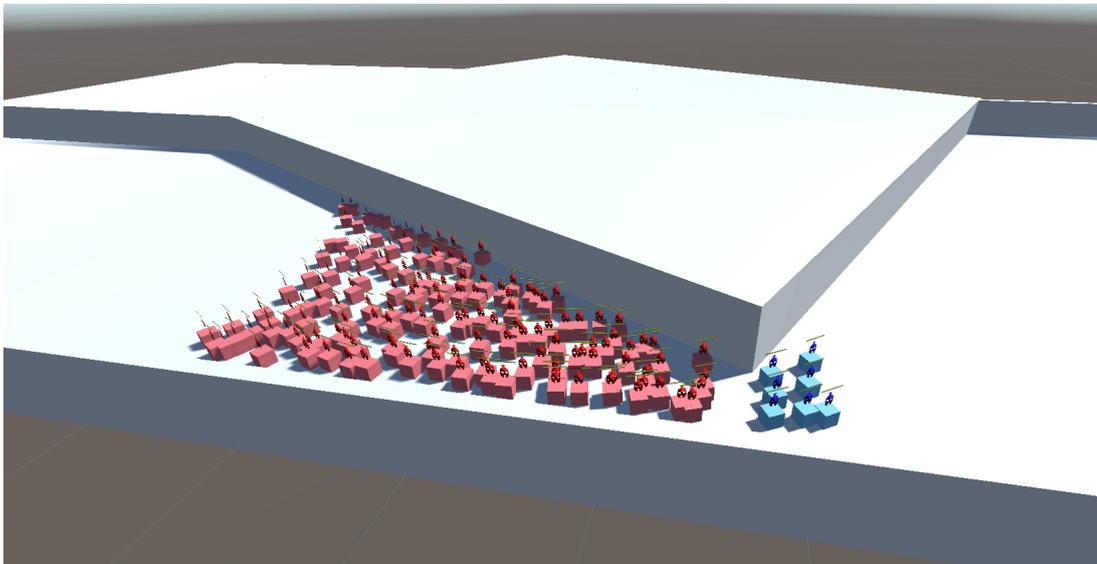


Figura 26: Captura de tela do preparo da simulação de Termópilas, com cada tropa contendo 1000 soldados.

Fonte: do autor.

Os resultados obtidos foram resumidos na tabela 8. Pode-se notar que, para as duas batalhas de referência, o simulador obteve 100% de taxa de acerto, com os gregos sempre ganhando em Maratona, e os persas em Termópilas. Além disso, para quase todas as batalhas, foi possível notar que o simulador estava acima da taxa de 80%, atendendo ao especificado na seção 4.2.

Batalha	Taxa de acerto
Maratona	100%
Termópilas	100%
Canas	82%
Trasimeno	100%
Rio Trebbia	91%
Farsalos	100%
Gaugamela	18%
Média	84%

Tabela 8: Resumo dos resultados obtidos pelo simulador.

Além disso, analisando as simulações em questão, pode-se notar que as estratégias usadas pelos exércitos simulados são parecidas com aquelas que foram realmente aplicadas nas batalhas. Um exemplo disto pode ser visto na figura 27, que representa a versão simulada da terceira fase da batalha de Maratona, como pode ser visto na figura 3.

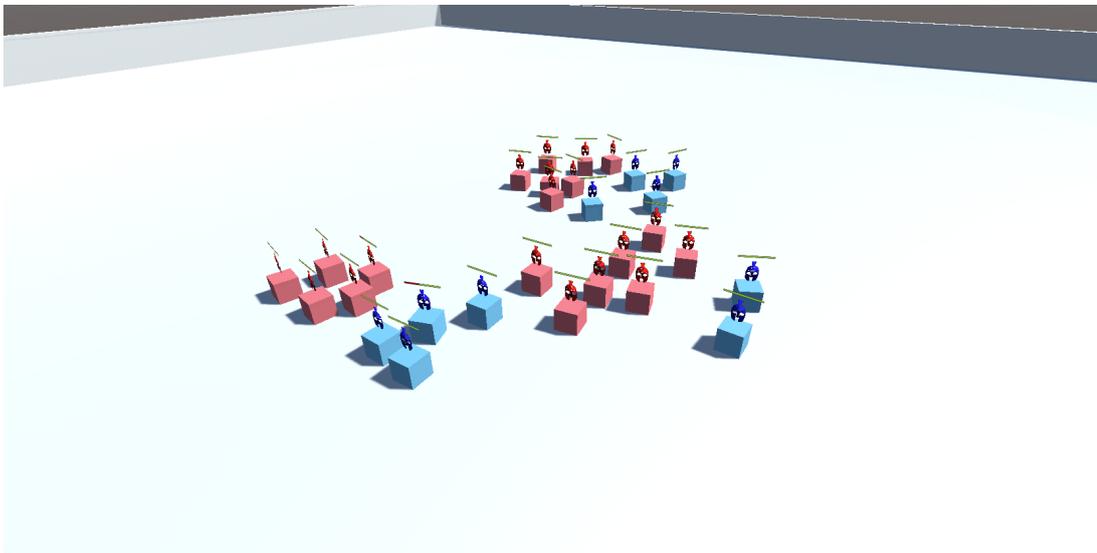


Figura 27: Captura de tela da simulação de Maratona em andamento.

Fonte: do autor.

No entanto, nota-se uma batalha que teve resultados muito abaixo do esperado: a batalha de Gaugamela, com uma taxa de acerto de apenas 18%. Uma possível explicação para esse fenômeno é a fuga de Darius III: sem um comandante, o exército persa ficou em desordem, causando sua derrota. Para que se comprove esta teoria, seriam necessários mais testes com batalhas onde situações similares ocorrem. Estes testes também precisariam ser mais profundos, de forma a estudar os efeitos da fuga ou queda de um comandante sobre o seu exército.

Por outro lado, um caso que poderia ser estudado mais a fundo é a batalha de Canas. Durante as simulações, notou-se que a derrota cartaginesa ocorria quando sua cavalaria não conseguia ganhar da cavalaria romana. Isto pode indicar que, caso seus cavaleiros não fossem tão bem treinados, talvez o resultado real da batalha fosse diferente.

De qualquer modo, pode-se afirmar que, para os casos de referência, o simulador teve um nível de fidelidade maior que o esperado. Além disso, para a maioria dos outros cenários, sua fidelidade continuou acima do especificado, sendo a única exceção uma anormalidade não prevista no planejamento do projeto.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Conclusões do Projeto de Formatura

O simulador de batalhas históricas conta com cinco civilizações diferentes, divididas entre sete cenários, cada um com um mapa próprio. Há seis configurações diferentes para o clima, e cinco para o terreno. Assim, pode-se dizer que todos os requisitos funcionais foram atendidos.

Além disso, dados os resultados obtidos nos testes de fidelidade, pode-se dizer que o simulador atende a este requisito, tendo um nível maior do que o esperado. No entanto, devido às dificuldades durante seu desenvolvimento, não se pode dizer que foi atendido o requisito de usabilidade, dado a falta de auxílios visuais no programa.

Em conclusão, apesar de o produto final do projeto não contar com bons sistemas de interação com o usuário, este mostrou ter uma alta taxa de fidelidade, que poderia vir a ser utilizada no âmbito de pesquisa e ensino com a continuação de seu desenvolvimento.

6.2 Perspectivas de Continuidade

A perspectiva de continuidade para o trabalho é promissora. O primeiro objetivo a ser cumprido deveria ser a melhoria dos sistemas de interação com o usuário do projeto, com interfaces e controles mais amigáveis e claros. Ainda assim, seria possível expandí-lo de diversas maneiras, como estudando um número maior de batalhas, ou ajustando os parâmetros de simulação e a lógica das árvores de decisão para aumentar sua fidelidade. Além disso, também seria interessante estudar o efeito da perda do comandante, como visto na seção 5.3.

O período histórico também poderia ser expandido, incluindo não somente civilizações da Antiguidade, mas também da Idade Média, por exemplo. Desse modo, o simulador teria uma gama de possibilidades de estratégias e batalhas maior e mais diversificada.

Ainda, seria possível implementar um modelo de inteligência artificial para tomar as decisões do comandante e das tropas. Este modelo receberia as informações conhecidas do campo de batalha e retornaria qual a decisão correta a ser tomada naquele momento. Para isto, seria necessário criar e treinar este, que pode vir a ser difícil considerando a quantidade de dados necessárias para treinamento.

Outra área de expansão potencial é a individualidade das tropas e sua capacidade de tomar decisões. Isso poderia incluir a implementação de sistemas de personalidade e comportamento para cada soldado, permitindo que eles reajam de maneiras únicas a diferentes situações em batalha, assim oferecendo uma simulação mais fidedigna.

Além disso, também seria possível adicionar novas variáveis ao campo de batalha, como por exemplo os suprimentos de cada exército. Isso serviria tanto para trazer reforços ao campo de batalha, como punir exércitos despreparados em batalhas mais longas que duram semanas ou até meses.

REFERÊNCIAS

- 1 EDITORS, C. R. *The Most Famous Battles of the Ancient World: Marathon, Thermopylae, Salamis, Cannae, and the Teutoburg Forest*. 1. ed. S.l.: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2017.
- 2 MCNAB, C. *The Roman Army: The Greatest War Machine of the Ancient World*. 2. ed. País de Gales: Osprey Publishing, 2012.
- 3 SIDEBOTTOM, H. *Ancient Warfare: A Very Short Introduction*. 1. ed. Estados Unidos: Oxford University Press, 2005.
- 4 EN, G. tek. *First phase of the Battle of Marathon- the two armies form their lines*. 2021. Retirado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:First_phase_of_the_Battle_of_Marathon-_the_two_armies_form_their_lines.svg (2022-12-03).
- 5 EN, G. tek. *Second phase of the Battle of Marathon-the Greeks attack and the lines make contact*. 2021. Retirado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Second_phase_of_the_Battle_of_Marathon-the_Greeks_attack_and_the_lines_make_contact.svg (2022-12-03).
- 6 EN, G. tek. *Third phase of the Battle of Marathon-the Greek center is pushed back*. 2021. Retirado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Third_phase_of_the_Battle_of_Marathon-the_Greek_center_is_pushed_back.svg (2022-12-03).
- 7 EN, G. tek. *Fourth phase of the Battle of Marathon-the Persian wings collapse*. 2021. Retirado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fourth_phase_of_the_Battle_of_Marathon-the_Persian_wings_collapse.svg (2022-12-03).
- 8 EN, G. tek. *Fifth phase of the Battle of Marathon-the Persians are routed and retreat to their ships*. 2021. Retirado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fifth_phase_of_the_Battle_of_Marathon-the_Persians_are_routed_and_retreat_to_their_ships.svg (2022-12-03).
- 9 BMARTENS. *Battle of Thermopylae*. 2021. Retirado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fifth_phase_of_the_Battle_of_Marathon-the_Persians_are_routed_and_retreat_to_their_ships.svg (2022-12-03).
- 10 MARTINI, F. *Battle of Cannae, 215 BC - Initial Roman attack*. Estados Unidos: Departamento de História, Academia Militar dos Estados Unidos, 2020. Retirado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Battle_of_Cannae,_215_BC_-_Initial_Roman_attack.svg (2022-12-03).
- 11 MARTINI, F. *Battle cannae destruction*. Estados Unidos: Departamento de História, Academia Militar dos Estados Unidos, 2020. Retirado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Battle_cannae_destruction.svg (2022-12-03).

- 12 MARTINI, F. *Battle of Lake Trasimene, 217 BC*. Estados Unidos: Departamento de História, Academia Militar dos Estados Unidos, 2020. Retirado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Battle_of_Lake_Trasimene,_217_BC.svg (2022-12-03).
- 13 MARTINI, F. *Battle trebia-en*. Estados Unidos: Departamento de História, Academia Militar dos Estados Unidos, 2007. Retirado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Battle_trebia-en.png (2022-12-03).
- 14 LEGIONARYIX. *BattlePharsalus-LIX*. 2019. Retirado de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BattlePharsalus-LIX.png> (2022-12-03).
- 15 LEGIONARYIX. *BattlePharsalus-LIX (editado)*. 2019. Retirado de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BattlePharsalus-LIX.png> (2022-12-03), editado pelo autor.
- 16 MARTINI, F. *Battle of Gaugamela, 331 BC - Opening movements*. Estados Unidos: Departamento de História, Academia Militar dos Estados Unidos, 2006. Retirado de https://en.wikipedia.org/wiki/File:Battle_of_Gaugamela,_331_BC_-_Opening_movements.png (2022-12-03), editado pelo autor.
- 17 MARTINI, F. *Battle gaugamela decisive*. Estados Unidos: Departamento de História, Academia Militar dos Estados Unidos, 2014. Retirado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Battle_gaugamela_decisive.png (2022-12-03), editado pelo autor.
- 18 PULIPING. *Battle Simulator*. São Paulo, Brasil: GitHub, 2022. <https://github.com/Puliping/Battle-Simulator>.