

A CIÊNCIAS DE THE LAST OF US

Data de submissão: 04/01/2023

Data de aceite: 01/03/2023

Marcelo Alves Ranuzi Borges

Universidade Federal de Uberlândia
Uberlândia – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/6713183856613248>

RESUMO: A popularização dos jogos digitais potencializou o surgimento de novas premissas atreladas a esse nicho de mercado, permitindo o desenvolvimento de histórias diretamente relacionadas com o meio científico. Desse modo, separar o falso do verdadeiro possibilita a utilização desses jogos em atividades pedagógicas fomentando o processo de ensino e assim, o jogo *The Last Of Us* se destaca por apresentar uma história com enorme potencial didático sobre os fungos entomopatógenos. Neste contexto, o objetivo deste estudo é mapear a ciência por trás de *The Last Of Us* por meio de um levantamento teórico-científico. Como resultado identificamos que a obra apresenta elevado fator crível, sendo plausível de ser utilizada como ferramenta de apoio à aprendizagem.

PALAVRAS-CHAVE: Fungos, Fungos entomopatógenos, *The Last Of Us*, *Cordyceps* e *Ophiocordyceps*.

THE SCIENCE OF THE LAST OF US

ABSTRACT: The popularization of digital games boosted the emergence of new assumptions linked to this market niche, allowing the development of stories directly related to the scientific environment. In this way, separating the false from the true makes it possible to use these games in pedagogical activities, favoring the teaching process and thus, *The Last Of Us* game stands out for presenting a story with enormous didactic potential about entomopathogenic fungi. In this context, the objective of this study is to map the science behind *The Last Of Us* through a theoretical-scientific survey. As a result, we identified that the work has a high credibility factor, being plausible to be used as a learning support tool.

KEYWORDS: Fungi, Entomopathogenic Fungi, *The Last Of Us*, *Cordyceps* and *Ophiocordyceps*.

1 | INTRODUÇÃO

Atualmente, há uma crescente no mercado de jogos digitais, que gradualmente atinge novos patamares dentro do cenário econômico. A gradativa

evolução da tecnológica possibilitou a diversificação das plataformas de jogabilidade, que por sua vez impulsionaram ainda mais esse panorama, permitindo aos usuários acessarem com maior facilidade os recursos desejados.

Os jogos eletrônicos comumente e unicamente são associados aos computadores e videogames, porém essa transformação tecnológica potencializou o surgimento de novos nichos de mercado, como jogos mobile e online, escanteando essa premissa de unicidade.

Essa expansão fomentou a popularização dos jogos digitais, alcançando novos públicos e cenários de atuação. Contudo, com essa generalização do gosto popular pelos jogos eletrônicos, sobreveio a demanda de múltiplos fatores potencializadores da jogabilidade, entre eles a veracidade da história. Frequentemente encontramos jogos com histórias de elevado teor ficcional, que pouco aprofundam no desenvolvimento da narrativa, dos personagens e especialmente na fidedignidade com a realidade.

Tais premissas estimulam o advento de concepções atreladas às situações apresentadas nos jogos encarando-as como meros eventos fictícios em sua totalidade, ou seja, as pessoas tendem a admitir como falso tudo o que elas extraem dos jogos digitais. Assim, momentos com enorme potencial de aprendizado são desperdiçados visto a falta de credibilidade apresentada pelos jogos.

Em contrapartida, existe um jogo denominado *The Last Of Us*¹ que utiliza de artifícios verídicos para desenvolver sua trama com certo teor científico. A ideia por trás do jogo é apresentar um mundo pós-apocalíptico, no qual boa parte da humanidade foi exterminada devido à uma pandemia provocada pelo fungo *Cordyceps*, que transforma as pessoas em verdadeiros zumbis.

Inspirado na própria realidade o jogo aproveita da criatividade da natureza para criar monstros plausíveis, visto que o fungo mencionado realmente existe e tem comportamento semelhante ao retratado no jogo.

Perante o exposto, o estudo tem como propósito realizar um levantamento teórico-científico acerca dos eventos apresentados no jogo demonstrando a ciência por trás de *The Last Of Us*.

Dessa forma, este trabalho se compõe por meio de diferentes segmentos. Inicialmente, tem-se um levantamento sobre os aspectos teóricos e científicos do jogo e da realidade, estabelecendo uma conexão entre ambos. Na sequência, concebe-se a metodologia utilizada para coleta de dados e por fim, expõe-se as considerações do estudo.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 *Cordyceps*

Atualmente, são conhecidas mais de 100 mil espécies de fungos, entretanto,

¹ Título: *The Last Of Us*; Ano de lançamento: 2013; Gênero: Survivor horror; Produtora: Naughty Dog Software; Plataformas: PlayStation 3, 4 e 5; A franquia é situada em um mundo pós-apocalíptico, onde os humanos se transformaram em zumbis devido a uma infecção oriunda do fungo *Cordyceps*

acredita-se que a diversidade deste grupo alcance algo em torno de 5,1 milhões de espécies (TRIERVEILER-PEREIRA et al., 2018). Comumente apontados como plantas, os fungos são organismos com características opostas ao referido grupo, sendo heterotróficos e algumas espécies unicelulares.

Os fungos podem ser classificados em quatro grupos distintos – Chytridiomycota, Zygomycota, Ascomycota e Basidiomycota. Cada um deles apresenta particularidades quanto às características e habitats, porém o âmago do estudo está no filo Ascomycota. Grande parte dos fungos pertencentes a esse filo são entomopatógenos – isso significa que podem parasitar artrópodes.

Um dos principais representantes do filo Ascomycota com essa propriedade são os fungos do gênero *Cordyceps*, sendo caracterizados por utilizar a espécie parasitada para concluir parte do seu ciclo reprodutivo, produzindo estromas e ascósporos no hospedeiro (FREIRE, 2012). São conhecidas mais de 400 espécies de *Cordyceps* (MOURA et al., 2018), que possuem uma ampla heterogeneidade de hospedeiros, entre insetos, aracnídeos e outros fungos (FREIRE, 2012). O gênero *Cordyceps* ainda apresenta distribuição cosmopolita, salvo a Antártica, e especialmente nas regiões tropicais e subtropicais (MOURA et al., 2018).

O ciclo de vida destes organismos é direto, ou seja, há somente um hospedeiro (HUGHES et al., 2009). As infecções por *Cordyceps* são demasiadamente contagiosas, no qual ele utiliza dos recursos morfológicos da espécie parasitada para projetar estruturas de seus corpos com o intuito de dispersar esporos (FREIRE, 2012).

Há outro gênero semelhante ao descrito acima que é o *Ophiocordyceps*. Esse grupo é composto por cerca de 140 espécies, das quais uma se destaca: *Ophiocordyceps unilateralis* – popularmente conhecida como fungo da formiga zumbi (MCKENNA, 2017). Essa espécie também é um entomopatógeno do filo Ascomycota sendo caracterizado pelo desenvolvimento de um talo na região dorsal do hospedeiro (EVANS et al., 2011; BARBOSA et al., 2015).

2.2 The last of us

A premissa de *The Last of Us* acompanha a possibilidade de que os humanos se tornassem hospedeiros dos mencionados fungos concebendo um cenário apocalíptico de magnitude global, com milhões de pessoas mortas.

O jogo busca ser plausível conforme desenvolve sua narrativa e seus personagens. Em entrevista realizada em 2013 – ano de lançamento – um de seus criadores Neil Druckman comentou que a inspiração para o desenvolvimento do jogo surgiu após assistir um episódio do documentário ‘Planet Earth’² da BBC, que apresentava os fungos entomopatógenos assumindo o controle dos hospedeiros.

2 Título: Planet Earth; Ano de lançamento: 2006; Gênero: Documentário de natureza; Produção: BBC; Sinopse: Documentário que apresenta uma visão global dos diferentes habitats e biomas da terra.

O referido documentário exterioriza brevemente o processo de infecção de uma formiga pelos esporos do *Cordyceps* e o processo de transformação comportamental e física que esse indivíduo sofre. Acompanhando esse trecho do documentário pode-se observar breves semelhanças com algumas particularidades do jogo, as quais serão comentadas a seguir.

2.3 Fato ou ficção? A veracidade dos eventos do jogo

Com base nas informações observadas na literatura e no próprio jogo, estabeleceu-se tópicos a fim de compará-las e demonstrar se há ou não veracidade por trás dos eventos de *The Last Of Us*.

2.3.1 Hospedeiros

De acordo com Andrade (1980), o gênero *Cordyceps* apresenta uma grande diversidade de hospedeiros, especialmente nas ordens Hymenoptera, Coleoptera, Hemiptera e Lepidoptera. Afirmação corroborada e complementada por Hughes et al., (2009), Freire (2012) e Andersen et al., (2016) que mencionam a ocorrência do parasitismo em 19 das 30 ordens de insetos conhecidas, em 10 famílias de aranhas e uma ordem de fungos. Enquanto isso, o gênero *Ophiocordyceps* é comumente associado ao parasitismo em formigas, como citam (EVANS et al., 2011).

Em contrapartida, no jogo *The Last Of Us* há uma pequena menção sobre o fungo e seus hospedeiros retirada de um documento sobre a infecção cerebral do *Cordyceps*: “O *Cordyceps* é um fungo parasita que pode assumir o controle da mente do hospedeiro e alterar o seu comportamento. Até pouco tempo afetava apenas alguns insetos e artrópodes. Entretanto, surgiu uma nova espécie que é capaz de atacar hospedeiros humanos”.

Obviamente, há uma fuga da realidade para idealizar essa premissa. A possibilidade de contaminação humana pelo *Cordyceps* ou *Ophiocordyceps* é nula, visto a enorme discrepância existente entre o sistema imunológico humano e dos artrópodes. O surgimento de espécies capazes de parasitar humanos dentro dos referidos gêneros demandaria de múltiplas mutações sequenciais por um longo período de tempo, o que é considerado praticamente impossível.

2.3.2 Mecanismo de infecção e propagação

A infecção por *Cordyceps* ou *Ophiocordyceps* ocorre por meio do contato direto do hospedeiro com os esporos dos fungos. Esse mecanismo de dispersão deriva do ciclo de vida desses gêneros, como demonstra McKenna (2017):

Para iniciar a reprodução do esporo, o fungo deve pousar em uma formiga ou ser apanhado no solo, então a hifa infectante perfura o exoesqueleto da formiga usando enzimas como lipase, quitinase e protease. Após esta fase, o fungo cresce como células de levedura de vida livre na hemocele do inseto,

estima-se que dure alguns dias. Essas células de levedura produzem toxinas nervosas que alteram ativamente a atividade comportamental da formiga viva. As formigas começarão a se afastar de sua colônia, também começarão a escalar e mastigar a vegetação. Para que os fungos se reproduzam com sucesso, a formiga deve morrer. A formiga morrerá na vegetação, apertando com sua mandíbula, conhecido como o “aperto da morte”, isso garante um lar estável para os fungos desenvolverem seu corpo de frutificação. O estroma do fungo começará a crescer a partir da região dorsal do pescoço da formiga e formará um corpo de frutificação conhecido como peritécio, onde os esporos são produzidos. Quando estiver pronto, o esporo será liberado no solo abaixo, esperando pousar em mais formigas para completar o ciclo (MCKENNA, 2017, online).

Outro aspecto interessante relacionado a essa interação antagônica refere-se à corrida armamentista existente entre fungo e formiga. De acordo com Andersen et al., (2016) e McKenna (2017), ambos os organismos coevoluíram a fim de estarem aptos a competir entre si. Os autores mencionam que os fungos alteram o comportamento das formigas conduzindo-as para locais com condições ideais de temperatura e umidade para o desenvolvimento do corpo de frutificação. Todavia, as formigas desenvolveram hábitos com o propósito de evitar a propagação dos esporos para o resto da colônia, tais como o isolamento de formigas infectadas e a frequente limpeza uma das outras para evitar a presença de esporos.

Contudo, esse serviço de limpeza pode ter funcionado como um mecanismo de propagação do patógeno. Segundo os estudos propostos por Andrade (1980), foram observadas operárias transportando formigas infectadas e posteriormente, apresentando comportamento dissemelhante. O autor complementa que a trofalaxia e possíveis casos de canibalismo podem estar associados a propagação do patógeno, visto à identificação de organismos com comportamento agressivo – fator comumente observado em insetos atacados por fungos.

Em compensação, no universo de *The Last Of Us* existem dois mecanismos de infecção: “Respirar os esporos emitidos pelo *Cordyceps* ou contato direto com fluídos corporais de um indivíduo infectado, normalmente através de uma mordida”. Há uma breve citação quanto ao ciclo reprodutivo desse fungo nos humanos, retirado do documento sobre a infecção cerebral do *Cordyceps*: “Após a infecção inicial, o parasita vai para o cérebro do hospedeiro após um ou dois dias. A incubação termina quando o *Cordyceps* assume o controle das principais funções corporais do hospedeiro (...). Eventualmente, o fungo fura o tecido do hospedeiro para permitir a liberação dos esporos no ar”. Além disso, o jogo estabelece que o *Cordyceps* assume o controle das funções motoras da vítima, assim como ocorre na relação fungo – formiga mencionada anteriormente.

Estabelecendo um comparativo entre o verídico e o fictício, observa-se que há fidedignidade quanto a esse tópico. Os eventos apresentados no jogo possuem respaldo científico, visto que os mecanismos de infecção e propagação de *The Last Of Us* são

equivalentes com a realidade, denotando o fator crível do jogo.

2.3.3 Período de contágio

Na literatura consultada existe certa concordância quanto ao intervalo de tempo para manifestação dos primeiros indícios de contágio pelos esporos dos fungos. De acordo com Andrade (1980), as formigas infectadas por *Cordyceps* demonstraram comportamento de desorientação seguido de morte em três dias com o surgimento do estroma no segundo dia. Afirmação semelhante à de Hughes et al., (2011), que menciona a ocorrência da morte do hospedeiro e o aparecimento das hifas em torno de 2 a 3 dias. Ademais, Tatiana et al., (2001) cita que as formigas morrem nas 24 a 48 horas seguintes à infecção. Fato corroborado pelos estudos de Andersen et al., (2009) que apresentaram evidências de formigas morrendo 24 horas após o contágio e com crescimento ativo das hifas.

Não obstante, em *The Last Of Us* o período de contágio é apresentado no documento sobre a infecção cerebral *do Cordyceps*: “Após a infecção inicial, o parasita vai para o cérebro do hospedeiro após um ou dois dias”. Como é possível observar os eventos apresentados no jogo estão condizentes com a literatura consultada, demonstrando novamente a sua credibilidade científica.

2.3.4 Sintomas e sinais

Os sinais exteriorizados por organismos infectados pelo *Cordyceps* ou *Ophiocordyceps* são caracterizados pelo surgimento de estruturas nas regiões dorsal e ventral dos hospedeiros. Segundo McKenna (2017), o estroma do *Ophiocordyceps* se desenvolverá na região dorsal da cabeça da formiga, originando o corpo de frutificação denominado de peritécio, onde os esporos são produzidos e dispersados. Para Hughes et al., (2016) após a morte do hospedeiro o fungo inicia o processo de desenvolvimento do corpo de frutificação na região posterior da cabeça.

De acordo com os estudos de Andersen et al., (2009) os fungos entomopatógenos utilizam dos recursos morfológicos do hospedeiro e da sua aptidão em alterar o seu comportamento para direcioná-los para os ambientes adequados para o desenvolvimento do corpo de frutificação. O desenvolvimento do estroma e posteriormente do corpo de frutificação nas regiões torácicas e do pronoto depende das condições ambientais (TATIANA et al., 2001). Por meio de suas investigações Andrade (1980) observou o desenvolvimento do estroma e do corpo de frutificação nas regiões torácicas, abdominal e cefálica de formigas parasitadas pelo *Cordyceps*.

Com isso, conclui-se que há diversidade quanto aos locais de desenvolvimento das estruturas fúngicas, como demonstrado no documentário *Planet Earth* – fonte de inspiração para o jogo – que apresenta alguns artrópodes parasitados pelo *Cordyceps*, com os corpos de frutificação emergindo de diferentes regiões morfológicas.

Em *The Last Of Us* existem evidências de que o fungo se desenvolve no cérebro com a manifestação inicial de suas estruturas nessa região e posteriormente se expande pelo corpo da vítima. No documento raios X dos fungos podemos observar o desenvolvimento do corpo de frutificação na região encefálica do hospedeiro. Ademais, no documento panfleto militar são apresentados os estágios da infecção, onde observa-se a evolução do *Cordyceps* e a manifestação de seus sinais.

Contudo, na literatura consultada identifica-se que o cérebro dos artrópodes contaminados permanece intacto, sendo que o processo de controle do hospedeiro provém de substâncias neuromoduladores. Hughes et al., (2016) mencionam que a morfologia cerebral do inseto se mantém preservada, sugerindo que a manipulação do hospedeiro ocorre por meio do sistema nervoso.

Em relação aos sintomas apresentados pelos organismos parasitados por *Cordyceps* ou *Ophiocordyceps* verifica-se práticas direcionadas à propagação dos esporos, demonstrando indícios de desorientação e perturbação. De acordo com Hughes et al., (2016) após a infecção o fungo manipula o comportamento do hospedeiro guiando-o para uma posição elevada no ambiente que facilite o desenvolvimento e a dispersão dos esporos. Andersen et al., (2009) destacam que o *Ophiocordyceps* é específico quanto à escolha do local da morte do hospedeiro, denotando o fator dominante sobre a vítima.

Segundo Hughes et al., (2009) a manipulação comportamental induz o hospedeiro a subir em uma vegetação alta, onde ocorrerá todo o processo. Para Tatiana et al., (2001) os indivíduos infectados pelo *Cordyceps* apresentam comportamentos anormais dentro de seus grupos, que resultam em suas mortes. No estudo de Andrade (1980) observa-se que formigas contaminadas pelo *Cordyceps* manifestaram condutas atípicas, tais como agressividade, estresse e possíveis casos de canibalismo. Essa interação ecológica entre o fungo e o hospedeiro é um dos eventos mais surpreendentes de um parasitoide manipulando o comportamento do vetor (MCKENNA, 2017).

No universo de *The Last Of Us*, os indivíduos infectados pelo *Cordyceps* apresentam sintomas semelhantes aos descritos acima. De acordo com o documento panfleto médico: “Os pacientes na fase inicial de infecção têm comportamento errático e violento, atacando quem os rodeia”. Os infectados no jogo utilizam de outros artifícios, que não de se locomover para ambientes altos, para à propagação dos esporos, tais como o canibalismo oriundo da agressividade.

Assim, observa-se que existem semelhanças e divergências quanto a esse tópico. A manipulação comportamental do hospedeiro pelo fungo provém da necessidade em completar o seu ciclo de vida. Em *The Last Of Us* identifica-se essa premissa, porém por meio de outro mecanismo – canibalismo – situação mencionada anteriormente na literatura como possível meio de propagação do patógeno.

3 | METODOLOGIA

No presente estudo adotou-se a pesquisa descritiva e exploratória seguido por uma revisão narrativa, visto o objetivo de proporcionar novos conhecimentos e descrever os processos envolvidos para sua efetiva compreensão. Levando em consideração a abrangência do tema, a pesquisa ocorreu a partir do levantamento teórico e científico de estudos já publicados relacionados ao tema.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão sistemática da literatura possibilitou a este estudo um panorama geral acerca dos diferentes contextos que permeiam entre o verídico e o fictício no jogo *The Last Of Us*. Por representar um mundo dominado por um fungo entomopatogeno, que é capaz de transformar humanos em zumbis, rapidamente se ignora o fator crível da obra excluindo qualquer possibilidade de aprendizado.

Contudo, o estudo demonstrou que salvo à contaminação dos seres humanos pelo *Cordyceps* ou *Ophiocordyceps* e o seu desenvolvimento no cérebro do hospedeiro, os demais fatores técnicos apresentados pelo jogo possuem respaldo científico, sendo condizentes com a realidade. A credibilidade de *The Last Of Us* pode ser observada em todos os tópicos levantados ao longo da pesquisa, refletindo a prudência dos desenvolvedores do jogo em apresentar um material fidedigno com a ciência.

Desse modo, considerando a problemática proposta, a qual objetivou demonstrar a ciência por trás de *The Last Of Us*, conclui-se, que a obra apresenta elevado teor científico, sendo plausível em múltiplos aspectos. Essa premissa possibilita o desenvolvimento de abordagens pedagógicas para o fomento de conhecimentos atrelados aos fungos entomopatógenos, demonstrando o potencial didático – científico presente em *The Last Of Us*.

REFERÊNCIAS

ANDERSEN, S. B., GERRITSMAN, S., YUSAH, K. M., MAYNTZ, D., HYWEL-JONES, N. L., BILLEN, J., HUGHES, D. P. The life of a dead ant: the expression of an adaptive extended phenotype. **The American Naturalist**, v. 174, n. 3, p. 424-433, 2009.

ANDRADE, C. F. S. D. Epizootia natural causada por *Cordyceps unilateralis* (Hypocreales, Eumycetes) em adultos de *Camponotus* sp. (Hymenoptera, Formicidae) na região de Manaus, Amazonas, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 10, p. 671-677, 1980.

BARBOSA, B. C., HALFELD, V. R., DE ARAÚJO, J. P. M., MACIEL, T. T., PREZOTO, F. Record of *Ophiocordyceps unilateralis* sensu lato, the zombie-ant fungus, parasitizing *Camponotus* in an urban fragment of Atlantic Rainforest in southeastern Brazil. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, v. 50, n. 1, p. 21-23, 2015.

EVANS, H. C., ELLIOT, S. L., HUGHES, D. P. *Ophiocordyceps unilateralis*: A keystone species for unraveling ecosystem functioning and biodiversity of fungi in tropical forests?. **Communicative & Integrative Biology**, v. 4, n. 5, p. 598-602, 2011.

FREIRE, F. M. **Aspectos taxonômicos de fungos entomopatógenos (*Cordyceps* sl) da Mata Atlântica Catarinense**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2012.

HUGHES, D. P., EVANS, H. C., HYWEL-JONES, N. I. G. E. L., BOOMSMA, J. J., ARMITAGE, S. A. Novel fungal disease in complex leaf-cutting ant societies. **Ecological Entomology**, v. 34, n. 2, p. 214-220, 2009.

HUGHES, D. P., ARAÚJO, J. P. M., LORETO, R. G., QUEVILLON, L., DE BEKKER, C., EVANS, H. C. From so simple a beginning: the evolution of behavioral manipulation by fungi. **Advances in genetics**, v. 94, p. 437-469, 2016.

MCKENNA, A. **Ophiocordyceps unilateralis: the zombie ant fungus**. 2017. Disponível em: <https://biol421.opened.ca/ophiocordyceps-unilateralis-the-zombie-ant-fungus/>. Acesso em: 14 dez. 2022.

NAUGHTY DOG. **The last of us**. 2017. Disponível em: <http://www.thelastofus.playstation.com/>. Acesso em: 15 dez. 2022.

MOURA, R. M., LIRA, V. L., DA SILVA SANTOS, A. C., MELO, R. R. *Cordyceps* sp.(ascomycota: hypocreales) parasitism on ant in the northeast of Brazil. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, v. 15, n. 2, p. 169-172, 2018.

SANTOS, L. F., HABU, S., RUBEL, R., SOCCOL, C. R. *Cordyceps* spp. e sua Participação no Sistema Reprodutivo Animal. **UNICIÊNCIAS**, v. 18, n. 2, 2014.

TATIANA, S., HENAO, L. G., AMAT, G. Distribución espacial de *Cordyceps* spp.(Ascomycotina: Clavicipitaceae) y su impacto sobre las hormigas en selvas del piedemonte amazónico de Colombia. **Revista de biología tropical**, v. 49, n. 3-4, p. 945-955, 2001.