

ARTICLE ORIGINAL

SILVA, Agnaldo Plácido da ^[1], PLÁCIDO, Eloá Jessica Mendes dos Santos ^[2], MORAES, Walber Breno de Souza ^[3]

SILVA, Agnaldo Plácido da. PLÁCIDO, Eloá Jessica Mendes dos Santos. MORAES, Walber Breno de Souza. Les impacts du moustique transgénique sur l'homme et l'environnement. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. An 05, Ed. 10, vol. 09, p. 158-176. octobre 2020. ISSN: 2448-0959, Lien d'accès: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/biologie/moustique-transgenique>, DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/biologie/moustique-transgenique

Contents

- RÉSUMÉ
- INTRODUCTION
- SUPPRESSION DE POPULATION DES INSECTES AVEC LE GÈNE MORTEL DOMINANT
- STRATÉGIES DE REMPLACEMENT DE LA POPULATION
- PHASE TRANSITOIRE
- INTERACTIONS ÉCOLOGIQUES
- PHASE STATIONNAIRE
- INTERACTIONS ÉCOLOGIQUES
- DISCUSSION
- CONCLUSION
- RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RÉSUMÉ

L'un des plus grands défis actuellement pour la santé publique au Brésil et dans le monde sont les maladies à transmission vectorielle, et les mesures de lutte actuelles sont inefficaces. Les moustiques sont parmi les vecteurs de diverses maladies, parce qu'ils sont hématophagous, les femelles ont besoin de sang dans la période d'ovulation pour la reproduction et une fois contaminés, le moustique peut contenir des bactéries, protozoaires

et virus qui sont alloués dans leurs glandes salivaires, infectant ainsi l'individu directement dans la circulation sanguine. *Aedes aegypti* est responsable de ces maladies : dengue, zika, chikungunya et fièvre jaune. Les formes de lutte contre les moustiques vecteurs jusqu'à présent sont inefficaces, et avec cela plusieurs technologies ont été développées comme alternatives dans la lutte et la lutte contre le moustique *Aedes aegypti*. Avec les approbations récentes pour la libération d'insectes génétiquement modifiés, il est nécessaire d'avoir des études plus détaillées pour évaluer leur potentiel écologique et leurs effets évolutifs. Ces effets peuvent se produire en deux phases : une phase transitoire lorsque la population focale change de densité, et une phase d'état stable lorsqu'elle atteint une densité nouvelle et constante. Avec les innovations dans la lutte antivectorielle par le biais d'insectes génétiquement modifiés nous donner une nouvelle perspective par rapport à la manipulation génétique. Cette étude vise à évaluer les effets potentiels d'un changement rapide de la densité du moustique *Aedes aegypti* lié à la lutte biologique par le moustique génétiquement modifié. Nous nous demandons donc si la biotechnologie peut être une solution aux problèmes de santé publique dans le cas du moustique *Aedes aegypti* ou un problème? Puisque la transformation ou les modifications de ces êtres vivants dans les laboratoires sont de nouvelles techniques qu'il est impossible jusqu'à présent de savoir quelles seront les conséquences à long terme.

Mots-clés: Sélection génétique, animaux transgéniques, *Aedes aegypti*, moustiques, lutte contre les moustiques.

INTRODUCTION

Les moustiques ont été intensément étudiés depuis le 19ème siècle quand ils ont été d'abord liés aux vecteurs de la maladie pour les hommes et d'autres vertébrés (WILKE; GOMES et *al.*, 2009). Les genres *Culex*, *Anopheles* et *Aedes* sont les vecteurs de trois groupes d'agents pathogènes humains : le paludisme du genre *Plasmodium*, la filia des genres *Wuchereria* et *Brugia* et de nombreux arbovirus, et les agents de la dengue et de la fièvre jaune (TAIPELAGOS et NATAL, 2003).

Dans la législation nationale, l'article 1 de l'article 3 de la Politique nationale de l'environnement (loi fédérale n° 6 938/81) définit l'environnement comme « l'ensemble des

conditions, des lois, des influences et des interactions d'un ordre physique, chimique et biologique, qui permet, abrite et régit la vie sous toutes ses formes » (FARIAS, 2017).

Les processus de dégradation de l'environnement, qui se sont produits principalement à la suite d'activités anthropiques, modifient l'équilibre écologique et fournissent des habitats adéquats afin que les vecteurs de maladies telles que les moustiques puissent se reproduire, se développer et transmettre des maladies (KWEKA; KIMARO et MUNGA, 2016). Les catastrophes environnementales causées par l'exploitation désordonnée de l'homme par les ressources naturelles et par le développement du processus d'urbanisation et d'industrialisation ont atteint des proportions inimaginables, mettant en danger la santé humaine (BARBIERI, 1998). Ces graves déséquilibres environnementaux qui ont atteint une échelle mondiale, mettant en évidence l'image de la destruction de la nature, ces situations de transformations environnementales sont ce qui favorise le plus l'émergence de nouvelles maladies (SCHMIDT, 2007) (KWEKA; KIMARO et MUNGA, 2016). Dans une interview accordée au Dialogue Chino Ulysses Confalonieri, un chercheur de la Fondation Oswaldo Cruz a déclaré que « la déforestation a toujours été l'une des principales causes de maladies tropicales au Brésil » (VEIGA, 2017). Des études ont montré que les changements environnementaux et les troubles écologiques, qu'ils soient de cause naturelle ou anthropique, peuvent exercer une influence marquée sur l'émergence et la prolifération de certaines maladies (SACCARO JUNIOR; MATION et SAKOWSKI, 2015). Plusieurs mécanismes ont déjà été suggérés pour expliquer comment le déséquilibre environnemental a contribué à l'augmentation des maladies causées par les moustiques (SACCARO JUNIOR; MATION et SAKOWSKI, 2015).

La littérature scientifique nationale et internationale montre que les virus et les bactéries dans la nature attendent le moment idéal pour atteindre les humains. Les écarts sont créés par l'homme à travers des décennies d'altération et de destruction de l'environnement, compte tenu de l'espace de temps entre le développement de la société humaine primitive à nos jours, et la façon dont les ressources naturelles ont été exploitées par l'homme, a influencé dans le contexte de ce qui s'est passé aujourd'hui, depuis les forêts ont cédé la place à l'agriculture et les centres urbains de tailles différentes (UJVARI, 2003).

Du changement de l'environnement, certains êtres vivants qui avaient comme habitat les forêts, ont commencé à vivre dans les villes avec l'homme, parmi ces êtres, nous pouvons trouver le moustique, un insecte qui peut être trouvé dans presque toutes les parties du

monde, étant, cependant, le vecteur du paludisme, la fièvre jaune, la dengue, le chikungunya, zika et d'autres maladies graves. Pour cela, le moustique a besoin de certains facteurs tels que les problèmes dans l'infrastructure des villes, le manque d'assainissement de base, qui favorisent la prolifération et la diffusion du moustique (NEVES; MELO *et al.*, 2005).

Ces pathologies ont en commun le moustique *Aedes aegypti*, qui est l'émetteur de maladies connues sous le nom d'arbovirus et qui présente une importance épidémiologique importante (SANTOS; SILVA *et al.*, 2017) (LOURENÇO et RODRIGUES, 2017). *Aedes aegypti* peut être défini par sa résistance et sa capacité à s'adapter à différents environnements, c'est un moustique d'Afrique, de la famille des Culicidae, aujourd'hui distribué dans presque tous les territoires du monde, *Aedes aegypti* est considéré par l'Agence européenne pour la prévention et le contrôle des maladies comme l'une des espèces de moustiques les plus irradiées de la planète (BRAGA et VALLE, 2007).

Au siècle dernier, au cours des années 1950 et 1960, plusieurs programmes de lutte antivectorielle ont été créés dans plusieurs pays, utilisant des stratégies chimiques sans restriction d'utilisation comme le DDT. Et aujourd'hui, ces mesures de lutte contre le moustique *Aedes aegypti* ont été moins efficaces que lorsqu'elles ont été utilisées dans les années 1950 (WILKE; GOMES *et al.*, 2009). Actuellement, plusieurs stratégies de lutte contre la population du moustique *Aedes aegypti* ont été élaborées, telles que la cartographie des risques, les composés naturels, wolbachia, la dispersion des moustiques insecticides, la technique stérile des insectes, les moustiques transgéniques et autres (ORGANISATION PANA-AMÉRICAINNE DE LA SANTÉ, 2019) (ZARA; SANTOS *et al.*, 2016). Dans la lutte contre le moustique *Aedes aegypti*, certains types de mécanismes de contrôle de base peuvent être utilisés : mécanique, chimique et biologique (HOY, 1985) (ZARA; SANTOS *et al.*, 2016).

Les stratégies génétiques qui ont été développées pour la lutte antivectorielle sont possibles pour les diviser en deux étapes. La première étape propose de réduire, voire d'éliminer, les espèces de moustiques par le développement de gènes mortels, ou capables de rendre les insectes stériles, dans cette technique, les insectes n'ont pas besoin de stérilisation par rayonnement (POST-PN-360, 2010) (DONOVAN, 2009). Dans la deuxième étape implique la transformation ou le remplacement de la population, par l'introduction d'un gène effecteur pour réduire ou bloquer la transmission de la maladie dans la population d'insectes sauvages

(ARAÚJO; CARVALHO *et al.*, 2015), (ANDRADE; ARAGÃO *et al.*, 2016).

Une Oxford Insect Technology (Oxitec Ltd. Oxford, En Angleterre), une société qui se concentre sur le développement de la technologie pour lutter contre le moustique avec l'utilisation de souches transgéniques, a développé une lignée d'*Aedes aegypti* pour le contrôle de la population. À l'heure actuelle, la lignée OX513A a été la première à obtenir les meilleurs résultats en laboratoire et a reçu l'approbation technique de la Commission technique nationale de biosécurité (CTNBio) pour sa sortie commerciale au Brésil (ZARA; SANTOS *et al.*, 2016) (POST-PN-360, 2010).

SUPPRESSION DE POPULATION DES INSECTES AVEC LE GÈNE MORTEL DOMINANT

Il s'agit d'une méthode connue sous le nom de système RIDL proposé par Thomas qui consiste en un mécanisme dans lequel un gène mortel dominant est associé à un promoteur spécifique de femelles, comme le promoteur du veau (WILKE; GOMES *et al.*, 2009) (ALPHEY; BENEDICT *et al.*, 2010).

Dans cette technique, le gène mortel dominant qui a été introduit dans le moustique peut être désactivé en présence de tétracycline. Pendant la séparation des moustiques mâles et femelles, la tétracycline est retirée du système, causant la mort de toutes les femelles (OLIVEIRA; CARVALHO et CAPURRO, 2011). Le système est bloqué lorsque la tétracycline existe à l'intérieur du moustique, parce que le tTA a plus d'affinité pour la tétracycline que le tetO (ALPHEY, 2002). Ainsi, tous les mâles homozygotes RIDL libérés dans l'environnement copuleront avec des femelles sauvages et tous les descendants porteront le transgène, en l'absence de tétracycline dans leur alimentation ces moustiques mourront de toxicité causée par les niveaux élevés de tTA dans les cellules (OLIVEIRA; CARVALHO et CAPURRO, 2011) (WILKE; GOMES *et al.*, 2009).

STRATÉGIES DE REMPLACEMENT DE LA POPULATION

Ces stratégies impliquent le remplacement permanent d'une population sauvage d'insectes par des variétés GMs qui ont été modifiées afin de les rendre moins capables de transmettre des maladies (TERENIUS; MARINOTTI *et al.*, 2008). « Ce réglage est fondé sur l'hypothèse

qu'une augmentation de la fréquence d'une population vectorielle d'un gène qui interfère avec un agent pathogène entraînera la réduction ou l'élimination de la transmission de cet agent pathogène » (COLLINS et JAMES, 1996).

Cette approche consiste en la création d'un insecte transgénique capable de tuer, ou d'empêcher la réplication ou la dissémination d'un agent pathogène spécifique, c'est-à-dire capable de mourir une fois infecté par le micro-organisme (TERENIUS; MARINOTTI *et al.*, 2008).

Cela se produirait lors de la transformation des cellules d'un moustique avec un micro-organisme, qui transcrit un RNA inversé répété (RNAir) dérivé du génome. Nous pouvons citer à titre d'exemple le virus de la dengue de type 2, ce virus est capable de générer un ARN à double bande, qui à son tour activera la voie d'interférence ARN (RNAi), qui est capable d'inhiber le cycle viral empêchant la réplication du virus chez le moustique (ADELMAN; SANCHEZ-VARGAS *et al.*, 2002).

Dans tous les cas de création de moustiques GM pour les rejets dans l'environnement, il est essentiel d'utiliser des technologies sexing, où seuls les mâles peuvent être libérés, car ils ne se nourrissent pas de sang, comme les femelles, ce qui réduit le risque de morsures et de transmission de maladies (WISE DE VALDEZ; NIMMO *et al.*, 2011).

Pour David, la libération d'insectes GM doit être considérée comme une perturbation écologique dont les effets néfastes peuvent se produire en deux phases : dans la première se produit une phase transitoire au cours de laquelle la population d'insectes, y compris les insectes GMs libérés, change rapidement de densité, dans la seconde est la phase de l'état stable au cours de laquelle la population se stabilise à une densité constante (DAVID; KASER *et al.*, 2013).

PHASE TRANSITOIRE

Dans cette phase, nous pouvons évaluer les effets évolutifs résultant des changements transitoires du flux génétique. Ce flux génétique est l'ensemble des mécanismes qui résultent de l'échange d'informations et du déplacement des gènes d'une population à l'autre, qui peuvent se produire dans des gamètes ou des segments d'ADN

extracellulaire entre les populations d'une même espèce, cependant, certains cas d'échange génétique interspécifique (WHITTEMORE et SCHAAL, 1991) (SLATKIN, 1985) sont connus. Lorsqu'un gène avantageux peut agir positivement en se propageant facilement dans une population croissante, lorsque cela se produit pendant une longue période, on peut avoir la formation d'une nouvelle espèce, en raison de l'influence réduite de la dérive génétique, certains de ces changements peuvent également passer à la phase d'état stable (GOULD et SCHLIEKELMAN, 2004). Bien que l'on puisse souhaiter un flux génétique entre les populations et les sous-espèces en cas de libération d'insectes transgéniques porteurs d'un gène mortel dominant (RIDL), il est nécessaire de tenir compte de l'importance des effets du flux génétique qui peuvent être désastreux (GOULD et SCHLIEKELMAN, 2004).

« Pour Prakash, l'introduction d'un gène dans différentes cellules peut entraîner des résultats différents, et le modèle général d'expression des gènes peut être modifié par l'introduction d'un seul gène » (PRAKASH; VERMA *et al.*, 2011).

Il est également nécessaire de prendre en compte les impacts de l'hybridation, le mélange peut avoir plusieurs effets, allant de la diminution de la condition physique à l'hétérose (FACON; CRESPIIN *et al.*, 2011).

Selon David, un mélange a été observé chez plusieurs espèces d'insectes, telles que l'*Apis mellifera carnica* et l'espèce *Apis mellifera* hybridées avec les populations indigènes d'*Apis mellifera* dans le nord-ouest de l'Europe et l'introduction de *Drosophila melanogaster* africains dans les populations américaines. (DAVID; KASER *et al.*, 2013)

L'hybridation peut impliquer de nouveaux avantages génétiques pour l'individu mixte (FACON; CRESPIIN *et al.*, 2011). Nous pouvons trouver dans la littérature plusieurs exemples de flux génétique intraspécifique entre les organismes transgéniques, principalement par rapport aux cultures transgéniques. Bien que certains chercheurs affirment qu'il existe une différence entre les cultures génétiquement modifiées et les insectes nuisibles dans leur physiologie et leur but, il convient de tenir compte du fait que les cultures transgéniques peuvent nous offrir beaucoup d'informations précieuses sur les différents types d'effets possibles parmi les organismes transgéniques. De nombreuses études nous ont montré que le flux intraspécifique du gène manipulé peut se produire entre les variétés GMs et non-GM

de diverses cultures. Nous pouvons citer à titre d'exemple, le Mexique, où ils ont été trouvés dans une plantation de maïs, transgènes de cultivars de maïs Bt (MERCER et WAINWRIGHT, 2008). Le flux génétique interspécifique transitoire peut se produire par l'accouplement, l'hybridation et l'introgession entre les GM et les organismes non GM. Si cette hybridation se produit dans un système naturel, elle peut avoir de nombreuses conséquences écologiques, ce qui peut avoir de fortes répercussions négatives pour les espèces indigènes (KENIS; AUGER-ROZENBERG et *al.*, 2009).

INTERACTIONS ÉCOLOGIQUES

La biologie nous montre chaque jour différents types d'interactions écologiques entre êtres vivants qui peuvent être considérées comme harmoniques ou disharmonieuses. Un organisme transgénique peut assumer l'une des nombreuses fonctions écologiques, telles que le consommateur, le concurrent ou le vecteur de la maladie. Ce type de changement peut se produire pendant la phase de transition, et peut conduire à divers effets écologiques. Si un changement dans la densité de population d'un insecte est affecté en raison de la libération d'insectes GM, il peut entraîner une augmentation de la population de prédateurs en raison de la disponibilité des proies (ROYAMA, 1984), même si un rejet d'insectes GM ne provoque pas nécessairement de changements dans la biomasse, l'augmentation de la population d'un insecte peut avoir des conséquences indésirables si un grand nombre d'agents sont libérés pour compléter une population naturelle. , cela pourrait augmenter la population de ses prédateurs (SNYDER et EVANS, 2006).

PHASE STATIONNAIRE

Si l'on tient compte du succès de la libération d'insectes GM, la population locale d'insectes devrait avoir une nouvelle densité constante après les changements transitoires de densité. Au cours de cet état, il est possible d'identifier les effets évolutifs et écologiques qui ont surgi au cours de cette phase (DAVID; KASER et *al.*, 2013).

Pour Myers, l'évolution n'est pas prévisible, malgré notre incapacité à prédire les produits de l'évolution, nous pouvons prédire des estimations significatives des processus évolutifs, car

ils seront affectés par l'épuisement de la diversité biologique (MYERS et KNOLL, 2001).

« Pour David, en tant que communauté qui s'adapte à la densité de population focale modifiée, les changements dans la fréquence de certaines interactions avec certaines espèces peuvent entraîner de nouvelles pressions de sélection à court terme » (DAVID; KASER *et al.*, 2013).

Plusieurs cas d'évolution rapide ont déjà été documentés après les invasions d'espèces, nous avons comme exemple en Australie la punaise de lit *Leptocoris tagalicus*, qui a évolué en développant des parties orales de 5 à 10% plus longtemps, dans une période de 30 à 40 ans, lui permettant de se nourrir des graines d'une vigne envahissante *Cardiospermum grandiflorum* (CARROLL; LOYE *et al.*, 2005), il convient de tenir compte du fait qu'une évolution rapide peut se produire chez une espèce d'insecte libérée pour la suppression des espèces locales, ces extinctions peuvent avoir de grandes conséquences évolutives (ANDERSON; KELLY *et al.*, 2011).

Les insectes GM peuvent modifier l'évolution de la virulence et la transmission d'un pathogène vectorisé, les premières souches en compétition au sein d'un hôte peuvent affecter la virulence et les secondes souches individuelles transmises entre hôtes peuvent conduire à un échange potentiel entre ces deux niveaux. La sélection qui agit sur la virulence du parasite est plus compliquée lorsqu'un hôte peut héberger simultanément plusieurs souches ou génotypes différents d'un parasite. Dans lequel il existe une hiérarchie de dominance, de sorte que seule la souche la plus virulente d'un hôte est transmise (MAY et NOWAK, 1995).

INTERACTIONS ÉCOLOGIQUES

Comme indiqué précédemment, les êtres vivants conservent entre eux divers types d'interactions écologiques, lorsqu'il y a une réduction à long terme d'une espèce d'insectes peut avoir des conséquences pour d'autres espèces en interaction (PRAKASH; VERMA *et al.*, 2011). Ces conséquences peuvent être facilement observées lorsqu'une espèce est enlevée ou excisée, générant un effet indirect sur l'écosystème. Il est nécessaire de les identifier, avant toute libération spécifique d'insectes transgéniques, plus pour cela est nécessaire, des

informations écologiques solides sur les interactions communautaires et les fonctions écosystémiques des espèces locales. Le gros problème est que cette information existe rarement, mais ne doit pas être interprétée comme l'absence d'effets indirects possibles (DAVID; KASER *et al.*, 2013).

Nous pouvons citer à titre d'exemple une étude de Crawford qui montre que les populations d'amphibiens dans le monde connaissent un déclin sans précédent, ce déclin a été attribué à un agent pathogène fongique, *batrachochytrium dendrobatidis* (CRAWFORD; LIPS et BERMINGHAM, 2010). Ce déclin récent des amphibiens nous montre un exemple de la façon dont la réduction de la population d'espèces peut affecter les processus écosystémiques (DAVID; KASER *et al.*, 2013). Peu d'études menées à ce jour ont évalué le rôle des têtards et leur importance dans le maintien de la bioturbation sédimentaire dans l'eau, leur élimination des systèmes aquatiques diminue la résuspension des sédiments qui entraîne une augmentation de la biomasse et des maladies diatomées, générant une disponibilité réduite des algues utilisées par d'autres espèces comme nourriture, affectant l'abondance et la diversité des ressources basales ainsi que influencée par la dynamique du réseau alimentaire d'autres consommateurs primaires (RANLVESTE; LIPS *et al.*, 2004).

Dans les systèmes écologiques, tous les êtres vivants interagissent avec d'autres organismes et avec leur environnement (PRAKASH; VERMA *et al.*, 2011). C'est l'une des raisons qui rendent le système biologique si difficile à étudier, ce sont ces possibilités d'interactions différentes avec les organismes et avec l'environnement qui le rendent si complexe (JUNIOR, 2013). Il faut tenir compte du fait que le système écologique peut être influencé par l'hystérésis, qui est l'incapacité d'un système à revenir à son état d'origine à partir d'un état alternatif (BEISNER; HAYDON et CUDDINGTON, 2003). L'hystérésis peut rendre difficile la restauration de la végétation indigène dans un habitat envahi, par exemple l'élimination des plantes envahissantes peut augmenter le nombre de plantes exotiques au lieu d'augmenter le nombre de plantes indigènes dans un habitat. La même chose peut se produire avec la libération d'insectes GM qui peuvent induire une phase d'équilibre indésirable, ce qui rend impossible l'inversion (DAVID; KASER *et al.*, 2013).

« Pour David, les effets évolutifs de la phase transitoire peuvent persister dans la phase d'état stable, et plusieurs nouveaux effets peuvent également se produire » (DAVID; KASER *et al.*, 2013). Selon Tsetsarkin, l'échange de vecteurs a déjà été observé chez les moustiques,

le virus du chikungunya a subi des mutations adaptatives pour passer au vecteur *Aedes albopictus* d'autres espèces d'*Aedes* (TSETSARKIN et WEAVER, 2011). Certains facteurs peuvent influencer la capacité du vecteur : comme la vie utile du vecteur, la fréquence des contacts entre les moustiques et les hôtes et la capacité générale de susceptibilité ou de résistance du vecteur au moustique, ces facteurs peuvent évoluer dans d'autres vecteurs, le déclin des habitats, peut favoriser l'émergence de nouvelles espèces pour coloniser les espaces en raison de la libération compétitive (COHUET; HARRIS *et al.*, 2010). La réduction d'une population peut influencer la population de prédateurs (DAVID; KASER *et al.*, 2013), les moustiques représentent généralement une partie importante de l'alimentation de diverses chauves-souris, araignées et poissons généralistes, la réduction des moustiques pourrait réduire la population de ces prédateurs (REISKIND et WUND, 2009). « Cela peut entraîner des effets communautaires en cascade, des perturbations des réseaux alimentaires et une perte potentielle de diversité dans la communauté touchée » (DAVID; KASER *et al.*, 2013).

DISCUSSION

La science et la technologie sont présentes dans tous les secteurs de la vie contemporaine, ainsi que la promotion de profondes transformations sociales, culturelles et économiques (BRAGA et VALLE, 2007) (ROMERO-VIVAS; WHEELER et FALCONA, 2002). Dans ce scénario, la biologie a présenté une position de premier plan dans le domaine de la science, principalement dans les domaines de la biologie moléculaire et de la génétique avec les organismes transgéniques. Pour cette raison, il est d'une grande importance que les gens soient appelés à réfléchir et à donner leur avis sur les avantages éthiques, moraux et sociaux, les risques et les implications découlant des biotechnologies générées par la recherche. Cependant, l'un des problèmes majeurs est que l'information que les gens reçoivent ne leur permet pas de s'approprier les connaissances scientifiques afin de les comprendre, de les questionner et de les utiliser comme instrument de pensée, il est possible de vérifier qu'il existe souvent des conceptions intuitives, fortement influencées par les médias, généralement dépourvues de connaissances scientifiques (ORTEGA; CAPRONI et ROZZATTI, 2011) (PEDRANCINI; CORAZZA-NUNES *et al.*, 2007).

Pour le bien ou le mal, « la trajectoire est claire », l'introduction d'un gène qui réduit la fertilité des moustiques ou leur capacité à transmettre un agent pathogène peut être

contrôlée? C'est une question à laquelle il faut répondre. Si quelque chose tourne mal, qui prendra ses responsabilités? Comment réparer les dommages? Qui devrait avoir le pouvoir d'introduire cette technologie dans la nature? Nous parlons d'éliminer une espèce ou de changer son comportement.

Dans le magazine The Science en avril 2015, valentino Gantz et Ethan Bier de l'Université de Californie à San Diego ont donné une alerte. Dans l'une de leurs recherches, les scientifiques ont modifié un gène, appelé yellow, d'un mâle de *Drosophila melanogaster* et ont effectué le croisement d'un mâle modifié exempt d'une femelle sauvage. La mutation qui s'est produite en raison de ce gène a modifié la coloration des mouches, qui est devenue plus claire. Comme l'allèle était récessif, les femelles générées par cette traversée devraient être sauvages, mais l'allèle mâle a modifié l'allèle femelle, et tous les descendants ont présenté une coloration jaune, éliminant toute variation qui existait chez l'insecte, ou plutôt, tous étaient les mêmes. Si ces individus étaient relâchés dans l'environnement, tous les insectes sauvages de l'espèce *Drosophila melanogaster* auraient maintenant cet allèle, le problème est qu'on ne sait pas si ce changement s'est produit dans l'une des régions du génome ou inséré dans une région indésirable du génome (GANTZ et BIER, 2015).

Pour Stewart, les microorganismes qui ont été génétiquement améliorés ont la capacité de se reproduire et de s'établir comme une population persistante qui peut avoir des effets subtils et à long terme sur les communautés biologiques et les écosystèmes naturels (STEWART JR; RICHARDS et HALFHILL, 2000). Les modifications de l'ADN ne peuvent pas se limiter uniquement aux caractéristiques du gène remplacé. Il est important de prendre soin de s'assurer que lorsque ces moustiques GM sont relâchés dans la nature, ils ne nuisent pas à l'environnement ou à la santé humaine (ANDERSSON; BARTSCH *et al.*, 2006). Nous pouvons mettre en évidence certains risques environnementaux qui sont susceptibles de se produire par l'utilisation de mosquito GM sur le terrain, car il est d'une grande importance de souligner que chaque gène peut contrôler plusieurs caractéristiques différentes dans un seul organisme.

La contamination génétique peut être considérée comme une réalité, lorsque nous introduisons des moustiques gm dans un habitat, ces moustiques peuvent croiser avec des parents sauvages ou sexuellement compatibles. Ces nouvelles caractéristiques peuvent disparaître ou conférer un avantage sélectif au receveur, modifiant la relation et le

comportement écologique des espèces indigènes.

Les impacts de l'écosystème ou les effets des changements sur une seule espèce peuvent s'étendre bien au-delà de l'écosystème. Les impacts uniques sont toujours associés au risque de dommages et de destruction de l'écosystème.

Le manque de moyens rend impossible la surveillance de ces moustiques GM introduits dans l'environnement, avec l'émergence de certains problèmes, il sera pratiquement impossible de les éliminer.

Le transfert horizontal de gènes recombinants à d'autres micro-organismes est un risque inquiétant lié aux GMs moustiques, l'acquisition de gènes étrangers par des organismes est l'une des nombreuses situations environnementales. Cela peut se produire en particulier en réponse au changement d'un environnement, fournissant d'autres organismes, en particulier les procaryotes, qui ont obtenu une proportion significative de leur diversité génétique par l'acquisition de séquences de gènes de différents organismes (OCHMAN; LAWRENCE et GROISMAN, 2000) (MARTIN, 1999), cela peut conférer une nouvelle caractéristique à un autre organisme, qui peut être une source de dommages potentiels à la santé ou à l'environnement des gens (BENNETT; LIVESEY et *al.*, 2004). Ce serait une grave erreur de supposer que les gènes recombinants d'un organisme ne se propagent pas à d'autres organismes.

Les effets à long terme de l'impact du transfert horizontal des gènes recombinants peuvent être relativement forts, ce qui peut prendre des milliers de générations pour qu'un organisme recevant devienne la forme dominante dans une population. En outre, d'autres facteurs peuvent aider. Comme le moment approprié des conditions environnementales biotiques ou abiotiques et des changements additionnels dans l'organisme de réception peuvent retarder les effets indésirables (NIELSEN et TOWNSEND, 2004). Plusieurs preuves scientifiques ont émergé ces dernières années sur des organismes génétiquement modifiés, montrant qu'il existe plusieurs risques évidents pour la santé humaine et l'environnement. Lorsque les ingénieurs génétiques créent un organisme transgénique, ils n'ont aucun moyen de déterminer l'emplacement spécifique qui insérera le gène. Le gène se retrouve à un endroit aléatoire dans le matériel génétique, et sa position n'est généralement pas identifiée (CRAIG; TEPFER et *al.*, 2009) (LABRA; SAVINI et *al.*, 2001).

CONCLUSION

Les chercheurs ont mis au point des techniques de modification génétique à un rythme incroyable et ont ainsi permis de trouver des gènes qui peuvent contrôler une caractéristique particulière d'un organisme. En disparaissant ces gènes de la source d'origine et en les transférant directement aux cellules d'un animal, d'une plante, d'une bactérie ou d'un virus, offrant une possibilité intéressante de progrès dans la lutte mondiale contre les ravageurs et les maladies, cependant, l'introduction de ces êtres génétiquement modifiés dans l'environnement peut avoir des conséquences environnementales et écologiques. Il est d'une grande importance d'évaluer rigoureusement les risques associés possibles, en fournissant des moyens et des structures pour identifier les effets écologiques possibles sur l'évolution de la résistance, l'immunité et les changements transitoires dans les interactions des espèces d'insectes génétiquement modifiés. L'utilisation d'organismes génétiquement modifiés est d'une grande importance pour répondre aux exigences croissantes qui pèsent sur notre planète, nous vivons dans une période d'anxiété où nous voulons résoudre les problèmes, d'une part nous sommes réconfortés par les menaces à la santé et à l'environnement humain, d'autre part, nous voyons de nouvelles alternatives pour changer la façon dont les choses sont, nous avons donc besoin de méthodes vitales de surveillance et de détection pour évaluer et gérer les risques liés à l'utilisation d'organismes génétiquement modifiés. La propagation de ces moustiques transgéniques, dont les effets, en particulier sur les composantes de la biodiversité sont difficiles à estimer et pire encore, peut être irréversible, entraînant l'exposition d'espèces à de nouveaux agents pathogènes ou agents toxiques, l'élimination des espèces non domestiquées, la génération de superpestes ou la pollution génétique, entre autres. Étant donné que ces transformations ou modifications des êtres vivants dans les laboratoires sont de nouvelles techniques et que jusqu'à présent, il est impossible de savoir quelles seront les conséquences à long terme. Et face au défi de trouver de nouvelles alternatives pour contrôler un pathogène, les scientifiques ont oublié une chose, la vie trouvera toujours un moyen de s'adapter.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ADELMAN, Z. N. et al. RNA Silencing of Dengue Virus Type 2 Replication in Transformed C6/36 Mosquito Cells Transcribing an Inverted-Repeat RNA Derived from the Virus Genome.

JOURNAL OF VIROLOGY, Dec. 2002, p. 12925-12933, v. 76, n. 24, p. 12925-12933, Dec. 2002.

ALPHEY, . Re-engineering the sterile insect technique. *Insect Biochem Mol Biol.* 2002 Oct;32(10):1243-7., v. 32, n. 10, p. 1243-1247, Oct. 2002.

ALPHEY, L. et al. Sterile-Insect Methods for Control of Mosquito-Borne Diseases: An Analysis. *Vector Borne Zoonotic Dis.*, v. 10, n. 3, p. 295-311, Apr. 2010.

ANDERSON, S. H. et al. Cascading Effects of Bird Functional Extinction Reduce Pollination and Plant Density. *Science*, v. 331, p. 1068-1071, 2011.

ANDERSSON, C. et al. Guidance document of the scientific panel on genetically modified organisms for the risk assessment of genetically modified microorganisms and their derived products intended for food and feed use. *Efsa Journal*, v. 374, p. 1-115, 2006.

ANDRADE, P. P. D. et al. Use of transgenic *Aedes aegypti* in Brazil: risk perception and assessment. *Bulletin of the World Health Organization*; Type: Policy & practice , p. 1-13, 31 August 2016.

ARAÚJO, H. R. C. et al. *Aedes aegypti* Control Strategies in Brazil: Incorporation of New Technologies to Overcome the Persistence of Dengue Epidemics. *Insects.*, v. 6, n. 2, p. 576-594, Jun 2015.

BARBIERI , J. C. DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE: AS ESTRATÉGIAS DE MUDANÇAS DA AGENDA 21. *RAE – Revista de Administração de Empresas*, São Paulo, v. 38, n. 2, p. 74-76, Abr./Jun. 1998.

BEISNER, B. E.; HAYDON, D. T.; CUDDINGTON,. Alternative stable states in ecology. *Front Ecol Environ* , v. 1, n. 7, p. 376-382, 2003.

BENNETT, P. M. et al. An assessment of the risks associated with the use of antibiotic resistance genes in genetically modified plants: report of the Working Party of the British Society for Antimicrobial Chemotherapy. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, v. 53, n. 3, p. 418-431, March 2004.

BRAGA, I. A.; VALLE, D. *Aedes aegypti*: histórico do controle no Brasil. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 16, n. 2, p. 113-118, 2007.

CARROLL, S. P. et al. And the beak shall inherit – evolution in response to invasion. *Evolution in response to invasion. Ecology Letters*, v. 8, n. 9, p. 944-951, 2005.

COHUET, et al. Evolutionary forces on *Anopheles*: what makes a malaria vector? *Trends Parasitology*, v. 26, n. 3, p. 130-136, 01 MARCH 2010.

COLLINS, F. H.; JAMES, A. A. Modificação genética de mosquitos. *Ciência e Medicina : Volume 3 Número 6 : Página 52 (dezembro de 1996)*, v. 3, n. 6, p. 52, Dezembro 1996.

CRAIG, et al. An overview of general features of risk assessments of genetically modified crops. *Euphytica*, v. 164, p. 853-880, 2009.

CRAWFORD, A. J.; LIPS, K. R.; BERMINGHAM,. Epidemic disease decimates amphibian abundance, species diversity, and evolutionary history in the highlands of central Panama. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, v. 107, n. 31, p. 13777-13782, 3 August 2010.

DAVID, A. S. et al. Liberação de insetos geneticamente modificados: uma estrutura para identificar potenciais efeitos ecológicos. *Ecology and Evolution*, v. 3, n. 11, p. 4000-4015., out 2013.

DONOVAN, M. J. Genetically Modified Insects: Why Do We Need Them and How. *Journal of Environmental and Sustainability Law Will They Be Regulated?*, v. 17, n. 1, p. 62-107, 2009.

FACON, B. et al. Can things get worse when an invasive species hybridizes? The harlequin ladybird *Harmonia axyridis* in France as a case study. *Evolutionary Applications*, v. 4, p. 71-88, 2011.

FARIAS,. Uma perspectiva constitucional do conceito de meio ambiente. *Consultor Jurídico*, 7 outubro 2017. Disponível em: <<https://www.conjur.com.br/2017-out-07/ambiente-juridico-perspectiva-constitucional-conceito-meio-ambiente>>. Acesso em: 11 Fevereiro 2020.

GANTZ, V. M.; BIER, E. The mutagenic chain reaction: A method for converting heterozygous to homozygous mutations. *SCIENCE*, v. 348, n. 6233, p. 442-444, 24 APRIL 2015.

GOULD , F.; SCHLIEKELMAN,. Population Genetics of Autocidal Control and Strain Replacement. *Annu Rev Entomol*, v. 49, p. 193-217, 2004.

HOY, J. B. EXPERIMENTAL MASS-REARING OF THE MOSQUITOFISH, GAMBUSIA AFFINIS. *J. Av. Mosq. CoNtrol Assoc*, v. 1, n. 3, p. 295-298, September 1985.

JUNIOR , R. D. D. S. A Sustentabilidade Como Híbrido: Um Diálogo Entre Ecologia, Sociologia e Antropologia. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, p. 1-18. 2013.

KENIS, et al. Ecological effects of invasive alien insects. *Biol. Invasions* , v. 11, p. 21-45, 2009.

KWEKA, E. J.; KIMARO, E. E.; MUNGA,. Effect of Deforestation and Land Use Changes on Mosquito Productivity and Development in Western Kenya Highlands: Implication for Malaria Risk. *Frontiers in Public Health*, v. 4, p. 1-9, 26 October 2016.

LABRA, M. et al. Genomic changes in transgenic rice (*Oryza sativa* L.) plants produced by infecting calli with *Agrobacterium tumefaciens*. *Plant Cell Reports* , v. 20, n. 4, p. 325-330, 2001.

LOURENÇO, A. F.; RODRIGUES, F. M. Doenças Transmitidas pelo *Aedes Aegypti* (Linnaeus, 1762) no Brasil nos Últimos Dez Anos. *Revistas pucgoias, Goiânia*, v. 44, p. 72-77, novembro 2017.

MARTIN, W. Mosaic bacterial chromosomes: a challenge en route to a tree of genomes. *BioEssays*, v. 21, n. 2, p. 99-104, 1999.

MAY , R. M.; NOWAK, M. A. Coinfection and the Evolution of Parasite Virulence. *Proc Biol Sci*, v. 261, p. 209-215, 1995.

MERCER, K. L.; WAINWRIGHT, J. D. Gene flow from transgenic maize to landraces in Mexico: An analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* , v. 123, p. 109-115, 2008.

MYERS , N.; KNOLL, A. H. The biotic crisis and the future of evolution. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 98, n. 10, p. 5389-5392, 8 May 2001.

NEVES, D. P. et al. Parasitologia Humana. 11^a. ed. Teresina: Atheneu, 2005. 07-25 p.
Disponível em:
<<https://gpicursos.com/interagin/gestor/uploads/trabalhos-feirahospitalarpiaui/5bbf097e27399cce54fad4d13040ae39.pdf>>. Acesso em: 12 Fevereiro 2020.

NIELSEN, K. M.; TOWNSEND , J. P. Monitoring and modeling horizontal gene transfer. Nature Biotechnology , v. 22, n. 9, p. 1101-1114, 2004.

OCHMAN, ; LAWRENCE, J. G.; GROISMAN , E. A. Lateral gene transfer and the nature of bacterial innovation. Nature, v. 405, n. 6784, p. 299-304, 2000.

OLIVEIRA, S. D. L.; CARVALHO, D. O.; CAPURRO, M. L. Mosquito transgênico: do paper para a realidade. Revista da Biologia, v. 6b, p. 38-43, 2011.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. Avaliação das estratégias inovadoras para o controle de Aedes aegypti: desafios para a introdução e avaliação do impacto dessas, Washington, 2019. Disponível em:
<http://iris.paho.org/xmlui/bitstream/handle/123456789/51374/9789275720967_por.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 Fevereiro 2020.

ORTEGA, C. A. ; CAPRONI, W. H.; ROZZATTI,. SOLUÇÃO GENÉTICA CONTRA DENGUE. Unimep, 08 Novembro 2011. Disponível em:
<<http://www.unimep.br/phpg/mostraacademica/anais/9mostra/4/140.pdf>>. Acesso em: 14 Fevereiro 2020.

PEDRANCINI, V. D. et al. Ensino e aprendizagem de Biologia no ensino médio e a apropriação do saber científico e biotecnológico. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, v. 6, n. 2, p. 299-309, 2007.

POST-PN-360. Genetically Modified Insects. The Parliamentary Office of Science and Technology, 01 June 2010. Disponível em:

<<https://researchbriefings.parliament.uk/ResearchBriefing/Summary/POST-PN-360>>. Acesso em: 27 Fevereiro 2010.

PRAKASH, et al. Risks and Precautions of Genetically Modified Organisms. International Scholarly Research Notices, p. 1-14, 2011.

RANVESTEL, A. W. et al. Neotropical tadpoles influence stream benthos: Evidence for the ecological consequences of decline in amphibian populations. Freshwater Biology, v. 49, n. 3, p. 274-285, March 2004.

REISKIND, M. H.; WUND, M. A. Experimental assessment of the impacts of northern long-eared bats on ovipositing Culex (Diptera: Culicidae) mosquitoes. J Med Entomol., v. 46, n. 5, p. 1037-1044, Sep. 2009.

ROMERO-VIVAS, C. M.; WHEELER, J. G.; FALCONA, A. K. An inexpensive intervention for the control of larval Aedes aegypti assessed by an improved method of surveillance and analysis. J Am Mosq Control Assoc., v. 18, n. 1, p. 40-46, Mar 2002.

ROYAMA, T. Population Dynamics of the Spruce Budworm Choristoneura Fumiferana. Ecological Monographs, v. 54, n. 4, p. 429-462, February 1984.

SACCARO JUNIOR, N. L.; MATION, L. F.; SAKOWSKI, P. A.. IMPACTO DO DESMATAMENTO SOBRE A INCIDÊNCIA DE DOENÇAS NA AMAZÔNIA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA, p. 01-38, 2015.

SANTOS, D. C. M. D. et al. INTERAÇÃO UNIVERSIDADE-ESCOLA: USO DE JOGOS DIDÁTICOS PARA CONHECER E PREVENIR O Aedes aegypti. Revista Eletrônica Extensão & Sociedade - PROEX/UFRN, v. 8, n. 1, p. 57-68, 2017.

SCHMIDT, R. A. C. A questão ambiental na promoção da saúde: uma oportunidade de ação multiprofissional sobre doenças emergentes. Physis: Revista de Saúde Coletiva, Rio de Janeiro, v. 17, n. 02, p. 373-392, 2007.

SLATKIN, M. Gene Flow in Natural Populations. Annual Review of Ecology and Systematics, v. 16, p. 393-430, November 1985.

SNYDER, W. E.; EVANS, E. W. Ecological Effects of Invasive Arthropod Generalist Predators. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, n. 37, p. 95-122, 12 December 2006.

STEWART JR, C. N.; RICHARDS, H. A.; HALFHILL, M. D. Transgenic plants and biosafety: science, misconceptions and public perceptions. BioTechniques, v. 29, n. 4, p. 832-843, October 2000.

TAIPE-LAGOS, C. B.; NATAL, . Abundância de culicídeos em área metropolitana preservada e suas implicações epidemiológicas. Revista de Saúde Pública, v. 37, n. 3, p. 275-279, 2003.

TERENIUS, et al. Molecular Genetic Manipulation of Vector Mosquitoes. Cell Host Microbe. 2008 Nov 13; 4(5): 417-423., v. 4, n. 5, p. 417-423., 13 Nov 2008.

TSETSARKIN, K. A.; WEAVER, S. C. Sequential Adaptive Mutations Enhance Efficient Vector Switching by Chikungunya Virus and Its Epidemic Emergence. PLoS Pathogens, v. 7, n. 12, p. 1-15, December 2011.

UJVARI, S. C. A História e Suas Epidemias - A Convivência do Homem com os Microorganismos. São Paulo: Senac, 2003.

VEIGA, C. Desmatamento provoca surto de febre amarela no Brasil. Diálogo Chino, 10 Fevereiro 2017. Disponível em: <<https://dialogochino.net/8488-deforestation-sparks-yellow-fever-outbreak-in-brazil/>>. Acesso em: 12 Fevereiro 2020.

WHITTEMORE, A. T.; SCHAAL, B. A. Interspecific gene flow in sympatric oaks. Proc.Nati.Acad.Sci.USA, v. 88, p. 2540-2544, March 1991.

WILKE, A. B. et al. Controle de vetores utilizando mosquitos geneticamente modificados. Rev Saúde Pública, v. 43, n. 5, p. 869-874, 2009.

WISE DE VALDEZ, M. R. et al. Genetic elimination of dengue vector mosquitoes. Proc Natl Acad Sci U S A. , v. 108, n. 12, p. 4772-4775, 22 Mar. 2011.

ZARA, A. L. D. S. A. et al. Estratégias de controle do Aedes aegypti: uma revisão. Epidemiol.

Serv. Saude, Brasília, v. 25, n. 2, p. 391-404, abr-jun 2016.

^[1] Doctorant en sciences biomédicales à l'IUNIR – Institut universitaire italien de Rosario – Argentine. Spécialiste en chirurgie et traumatologie bucomaxillofacial par Ciodonto – Clinique de dentisterie intégrée. Diplômé en dentisterie de l'ASCES – Caruaruense Association of Higher Education. Diplômé en biologie de l'UPE – Université de Pernambuco.

^[2] Diplômé du cours de physiothérapie de l'UNISSAU College.

^[3] Master en ressources naturelles – UFCG. Diplôme en biologie UPE- Université de Pernambuco. Professeur à l'UNOPAR.

Envoyé : Mai 2020.

Approuvé : octobre 2020.