



חיידקי-על בינינו: מי הם, ומה אתם יכולים לעשות כדי לסייע במאבק?

Maria Letícia Bonatelli¹, Laura Maria Andrade Oliveira², Tatiana Castro Abreu Pinto^{2*}

¹ בית הספר העליון לארכיטקטורה לואיז דה קיירוז, אוניברסיטת סאו פאולו, סאו פאולו, ברזיל
² המכון למיקרוביולוגיה פאולו דה גואז, האוניברסיטה הפדרלית של ריו דה ז'נרו, ריו דה ז'נרו, ברזיל

סוקר צעיר

FELIX
גיל: 16



חיידקי-על (Superbugs)

חיידקים שיש להם נשקים רבים להילחם כנגד אנטיביוטיקה, ולכן הם עמידים בפניה.

אנטיביוטיקה היא תרופה בסיסית שמשמשת לטיפול במחלות שנגרמות על ידי חיידקים. חיידקים הם מיקרואורגניזמים זעירים (אשר נקראים מיקרובים) שאפשר למצוא בגוף שלנו, בחיות ובסביבה. מרבית החיידקים הם מועילים, כך שאנטיביוטיקה משמשת להרוג רק חלק מהחיידקים – אלה שיכולים לגרום למחלות. אולם מאז התגלית של האנטיביוטיקה הראשונה, חיידקים גורמי מחלות מצאו דרכים לשרוד, רכשו עמידות לאנטיביוטיקה, ואפילו הפכו לחיידקי-על. חיידקי-על הם אחד האיומים החשובים ביותר לבריאות האנושות כיום, כך שצריך למנוע את התפתחותם ולשלוט בהם. במאמר הזה, נספר לכם על ההיסטוריה של אנטיביוטיקה, על עלייתם של חיידקי-העל, ועל מה אתם יכולים לעשות כדי להצטרף למאבק נגדם.

חיידקי-על? אנחנו אפילו לא יודעים מהם חיידקים רגילים...

כדי להבין מהם **חיידקי-על**, עלינו ראשית להבין מהו מיקרוב רגיל. **מיקרובים** הם אורגניזמים זעירים שניתן לראות באמצעות מיקרוסקופ, ושנמצאים כמעט בכל מקום. **חיידקים**, וירוסים,

מיקרובים**(Microbes)**

אורגניזמים זעירים חיים שאפשר לראות רק באמצעות מיקרוסקופ, אשר נמצאים בנו, בחיות ובסביבה.

חיידקים**(Bacteria)**

סוג אחד של מיקרובים. חיידקים עם עמידות לאנטיביוטיקה הפכו לחיידקי-על מסוכנים.

אנטיביוטיקה**(Antibiotics)**

תרופה שמשמשת לטיפול במחלות שנגרמות על ידי חיידקים.

פניצילין**(Penicillin)**

האנטיביוטיקה הראשונה שהתגלתה בשנת 1928 על ידי אלכסנדר פלמינג. האנטיביוטיקה נקראה על שם המיקרוב שמייצר אותה, פטרייה בשם פניצילום.

פטריות ופרוטוזואה הם סוגים שונים של מיקרובים. אם תסתכלו ברחבי הבית שלכם אתם תראו שהצמחים, החיות, המזון ואפילו אתם – מלאים בהם. אבל אל תיכנסו לפאניקה! מרבית המיקרובים למעשה מסייעים לנו. לדוגמה, חלק מהמיקרובים שחיים במעי שלנו מבצעים תפקידים חשובים בעיכול המזון שאנו אוכלים. מיקרובים אחרים שחיים בסביבה הכרחיים לייצור סוגי מזון מסוימים. גבינה ויוגורט, למשל, נוצרים כאשר מיקרובים גדלים בחלב [1, 2].

אולם ישנם גם מיקרובים רעים בעולם. המיקרובים האלה יכולים לגרום לנו לחלות, ואפילו לסכן את חיינו. אם תחקרו את ההיסטוריה של הציוויליזציה האנושית, ישנן הרבה מחלות שנגרמו על ידי סוגי מיקרובים שונים שהובילו למותם של מיליוני בני אדם. דוגמאות מדהימות לכך הן השפעת הספרדית (שנגרמה על ידי וירוס) בראשית המאה העשרים, והמגפה השחורה (שנגרמה על ידי חיידק) באמצע המאה הארבע-עשרה. מעריכים שיחד, שתי המחלות האלה הרגו בסביבות 300 מיליון בני אדם [3].

מאחר שיש להם יכולת פוטנציאלית להרוג כל כך הרבה אנשים, אנו צריכים למצוא דרכים לשלוט בהתפשטות של מיקרובים רעים. הדרך היעילה ביותר לעשות את זה תלויה בסוג המיקרוב שגורם את המחלה. במאמר הזה אנו נתמקד בחיידקים, ואחת הדרכים היעילות ביותר לטפל במחלות שנגרמות על ידי חיידקים היא באמצעות שימוש בתרופה שנקראת **אנטיביוטיקה**. פירוק המילה אנטיביוטיקה יכול לסייע לנו להבין את המשמעות שלה – אנטי, כלומר נגד; וביטיקה – כלומר שקשור ליצורים חיים. במקרה הזה, היצורים החיים מתייחסים לחיידקים, מאחר שאנטיביוטיקה בדרך כלל אינה יעילה כנגד סוגים אחרים של מיקרובים (וירוסים, פטריות, או פרוטוזואה). אולם האם אתם יודעים כיצד האנטיביוטיקה התגלתה?

גילוי הפניצילין ומהפכת האנטיביוטיקה

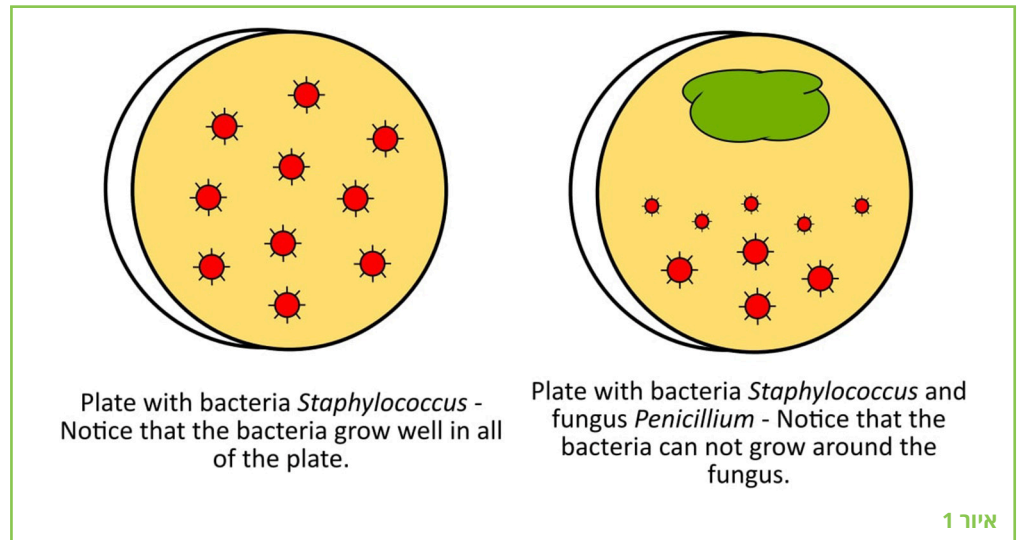
אלכסנדר פלמינג היה רופא-מדען בריטי שהתעניין בחקר חיידקים אחרי שהוא חזר ממלחמת העולם הראשונה, שם הוא צפה בכמה חיילים שמתו מזיהומים חיידקיים. אחרי המלחמה הוא נהפך לפרופסור לבלקטריולוגיה (המדע שחוקר חיידקים) בבית החולים סיינט מרי בלונדון, בריטניה. הוא חקר חיידק שנקרא *סטפילוקוקוס*, שיכול לגרום למגוון זיהומים. כדי לחקור את הסטפילוקוקוס, פלמינג היה צריך לגדל אותם במעבדה. הוא השתמש בצלחת (כלי מעגלי ושטוח שעשוי מזכוכית או מפלסטיק) שמלאה במדיום מזין המאפשר גדילה של מיקרובים [4].

יום אחד בשנת 1928, פלמינג הבחין במיקרוב אחר שגדל בצלחת שלו – פטרייה שנקראת *פניצילום*. הפטרייה הזו אינה מזיקה לבני אדם, ולעיתים קרובות אפשר למצוא אותה באדמה ועל גבי מזון מקולקל. פלמינג הבחין שבמקום שבו הפטריות גדלו, חיידקים לא גדלו. באופן כלשהו, הפטריות ייצרו משהו שהרג את הסטפילוקוקוס (ראו איור 1). הממצא המקרי הזה הוביל לגילוי של האנטיביוטיקה הראשונה, **פניצילין**, שקרויה על שם המיקרוב שמייצר אותה.

בשנת 1941, פניצילין שימשה בפעם הראשונה לטיפול בזיהום חיידקי בבן אדם. פניצילין הייתה לתרופה בסיסית במלחמת העולם השנייה, וסייעה למנוע את מותם של חיילים רבים. זו הייתה תחילתה של "מהפכת האנטיביוטיקה". אחרי תגלית הפניצילין, מדענים גילו שהרבה מיקרובים אחרים מסוגלים לייצר סוגים שונים של אנטיביוטיקה. מרבית המיקרובים האלה חיים באדמה

איור 1

ייצוג של צלחות התרבית של אלכסנדר פלמינג, שסייעו לו לגלות את האנטיביוטיקה הראשונה – הפניצילין. פניצילין מיוצרת על ידי פטריות הפניצילום. **משמאל:** צלחת עם חיידקי סטפילוקוקוס (באדום). שימו לב שהחיידקים יכולים לגדול טוב בכל הצלחת. **מימין:** צלחת עם חיידקי סטפילוקוקוס (באדום) ופטריות פניצילום (בירוק). שימו לב שהחיידקים לא יכולים לגדול סביב לפטריות בחלק העליון של הצלחת.



אינם מזיקים לבני אדם, והם מייצרים אנטיביוטיקה שמגינה עליהם מפני מיקרובים אחרים באדמה, או שמסייעת להם להתחרות על מקום בסביבה.

בין השנים 1940 ו-1970, התגלו כמה אנטיביוטיקות, ומחלות חיידקיות טופלו בקלות באמצעות התרופות האלה. אנשים אפילו חשבו שיגיע יום שבו האנושות תיפטר מחיידקים רעים לנצח! אולם זה לא בדיוק מה שקרה...

עלייתם של חיידקי-העל

חיידקים הם אורגניזמים חיים. כמו שבני אדם התפתחו במהלך 3 מיליון השנים האחרונות ונלחמו לשרוד אל מול השינויים שהתרחשו בעולם, כך עשו גם חיידקים. כשאנטיביוטיקה התחילה להיות בשימוש נרחב לטיפול בזיהומים, חיידקים התחילו למצוא דרכים לשרוד, על ידי רכישת עמידות לאנטיביוטיקה.

אולם כיצד חיידקים יכולים להפוך עמידים בפני אנטיביוטיקה? בואו נזכור שאנטיביוטיקה היא מוצר טבעי של חלק מהמיקרובים. לכן, הגיוני שמיקרובים שמייצרים אנטיביוטיקה באופן טבעי גם עמידים בפניה באופן טבעי. משמעות הדבר היא שעמידות לאנטיביוטיקה היא ותיקה כמו האנטיביוטיקה עצמה, והיא תמיד התקיימה בטבע.

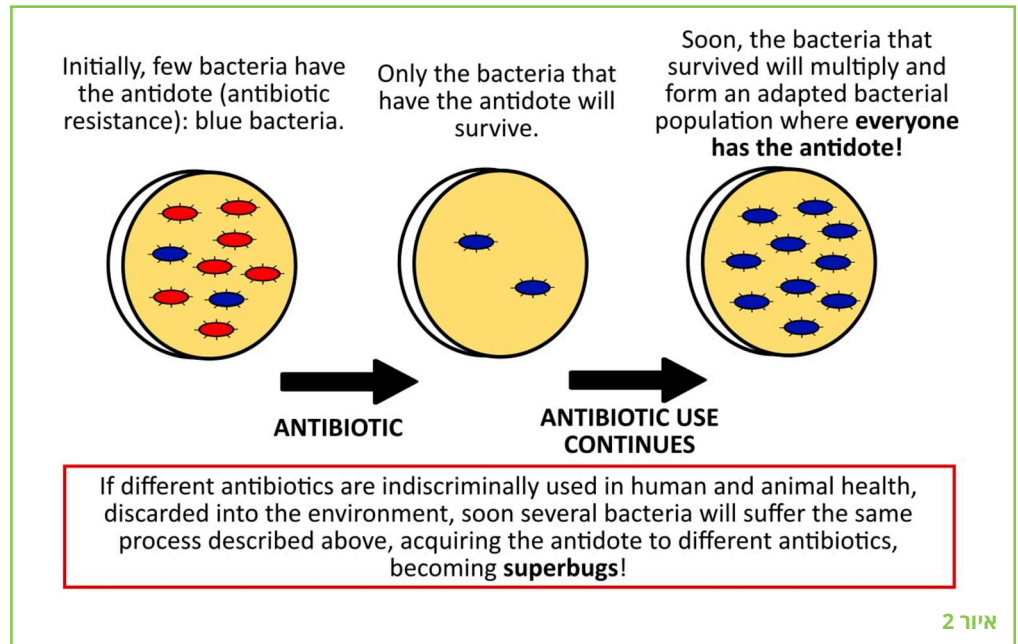
אם כן, כאשר אנטיביוטיקה הייתה בשימוש רב מדי לעיתים תכופות מדי, וכל אוכלוסיית החיידקים נפגעה, רק החיידקים שהיה להם "סוּתְרָן" (אנטידוט), שנקרא **עמידות אנטיביוטיקה**, שרדו. חלק מהחיידקים רוכשים עמידות לאנטיביוטיקה מהטבע, והחיידקים העמידים האלה לאחר מכן שורדים ומתחילים דור חדש של חיידקים. הדור החדש יהיה עמיד כולו לסוג האנטיביוטיקה המסוים הזה (ראו איור 2). משמעות הדבר היא שהאנטיביוטיקה כבר לא תעבוד כטיפול בזיהומים שנגרמים על ידי החיידקים האלה. אולם זה בסדר כיוון שגילינו סוגים שונים של אנטיביוטיקה, נכון?

עמידות לאנטיביוטיקה (Antibiotic Resistance)

כאשר חיידקים לא נהרגים על ידי אנטיביוטיקה; כלי הנשק שמשמש חיידקים לשרוד אנטיביוטיקה.

איור 2

כיצד חיידקים יכולים להיעשות עמידים בפני אנטיביוטיקה, ולהפוך לחיידקי-על. בנוכחות של אנטיביוטיקה (משמאל), רק החיידקים שיש להם סותרן (עמידות לאנטיביוטיקה) ישרדו (החיידקים הכחולים באמצע). לאחר מכן, החיידקים האלה שעמידים בפני אנטיביוטיקה יתרבו וייצרו עוד חיידקים עמידים (מימין).



טעות! חלק מהחיידקים יכולים להיות עמידים בו-בזמן להרבה סוגי אנטיביוטיקה, מה שהופך אותם לחיידקי-על, שעבורם עשויה שלא להיות אנטיביוטיקה מתאימה בזמן הקרוב. באופן מעניין, אחד מחיידקי-העל שהתפשטו בקרב בני אדם היה הסטפילוקוקוס, אותו החיידק שהוביל לגילוי הפניצילין כמה עשורים קודם לכן.

בהתחלה, חיידקי-על היוו איום רק בבתי חולים. מאחר שישנם כל כך הרבה מטופלים בבתי חולים, וסוגים שונים של אנטיביוטיקה משמשים לטיפול בזיהומים שונים, חיידקי-על יכולים לשרוד בקלות ולהיות מועברים מאדם אחד לאחר בסביבת בית החולים. אולם חיידקי-על נמצאים כיום בכל מקום. הם נמצאו אצל אנשים בריאים מחוץ לבתי חולים, בחיות ובסביבה. לא משנה היכן הם נמצאו, ההופעה של חיידקי-על התרחשה בגלל השימוש הנרחב באנטיביוטיקה. אצל חיות משק, למשל, ניתנת אנטיביוטיקה כדי למנוע זיהומים ולטפל בהם, וכדי לעודד גדילה מהירה יותר. חיידקי-על מחיות ומהסביבה יכולים להיות מועברים לבני אדם או דרך מגע ישיר או על ידי אכילת מזון מזוהם [5-7].

כיצד אנו יכולים להביס חיידקי-על, ולמה שתעזרו?

אם חיידקי-על עמידים בפני אנטיביוטיקה שנמצאת כיום בשימוש, למה מדענים לא פשוט מגלים אנטיביוטיקה חדשה? לרוע המזל, זה לא כל כך פשוט. התהליך של גילוי אנטיביוטיקה חדשה בטבע, וייצור הרבה ממנה כך שניתן יהיה לתת אותה לאנשים, הוא מורכב, צורך זמן רב, ויקר מאוד.

לכן, כיום אנו ניצבים בפני תרחיש מאתגר ומטריד. אנשים שמזוהמים על ידי חיידקי-על בדרך כלל דורשים טיפול יקר, באמצעות תרופות שהן רעילות יותר מאנטיביוטיקה, והם נשארים בבית חולים במשך זמן רב. לרוע המזל, האנשים האלה לעיתים קרובות נפטרים. ארגון הבריאות העולמי מעריך שעד שנת 2050, זיהומים שנגרמים על ידי חיידקי-על יעלו בסביבות 84

מיליארד דולר ויהיו אחראיים למותם של כמעט 10 מיליון בני אדם ברחבי העולם בכל שנה, מה שמהווה נטל כבד יותר מסרטן [5–7].

מאחר שגילוי אנטיביוטיקה חדשה הוא מטלה קשה ואיטית, הפעולה החשובה ביותר שאנו צריכים לעשות כדי לשלוט בחיידקי-על היא להפחית את השימוש הלא הכרחי באנטיביוטיקה במטרה להפסיק את התפשטות החיידקים העמידים. כיום ידוע ששליטה בהתפשטות של חיידקי-על בבני אדם תלויה בשליטה בחיידקי-על בחיות, במזון ובסביבה כולה. משמעות הדבר היא שכולם צריכים להיות מעורבים במאבק הזה: רופאים, וטרינרים, מדעני סביבה, מומחי מזון, ואתם!

פעולה חשובה אחת שכולנו יכולים לעשות היא להשתמש באנטיביוטיקה בצורה נכונה, ורק כאשר היא נדרשת. אנו צריכים לדבוק באנטיביוטיקה שקיבלנו במרשם מרופא; לקחת אנטיביוטיקה ללא מרשם לגמרי אינה מומלצת. כמו כן, אסטרטגיות בריאות פשוטות אחרות יכולות לסייע לשלוט בחיידקי-על. אלה כוללות התחסנות; גישה למים נקיים; תברואה בסיסית; היגיינה טובה; הכנת מזון נכונה ושטיפת ידיים ראויה.

במה שנוגע לטיפול באנשים שזוהמו על ידי חיידקי-על, מדענים מחפשים ומעריכים חלופות שאינן אנטיביוטיקה, כולל תרופות שונות מגניבות ביותר. אלה כוללות שימוש בוירוסים מסוימים (שנקראים בקטריופאגים) אשר יכולים להרוג חיידקים. אף על פי שהם נראים מבטיחים, רבים מהטיפולים החלופיים האלה עדיין נמצאים בשלבי מחקר ואינם זמינים בפועל. הדרך עשויה להיות עוד ארוכה, אולם כולנו צריכים לעשות מה שאנו יכולים היום אם אנו רוצים לנצח במאבק כנגד חיידקי-על.

מקורות

1. Sassone-Corsi, M., and Raffatellu, M. 2015. No vacancy: how beneficial microbes cooperate with immunity to provide colonization resistance to pathogens. *J. Immunol.* 194:4081–7. doi: 10.4049/jimmunol.1403169
2. Colombo, M., Todorov, S. D., Eller, M., and Nero, L. A. 2018. The potential use of probiotic and beneficial bacteria in the Brazilian dairy industry. *J. Dairy Res.* 85:487–96. doi: 10.1017/S0022029918000845
3. Tognotti, E. 2013. Lessons from the history of quarantine, from plague to influenza A. *Emerg. Infect. Dis.* 19:254–9. doi: 10.3201/eid1902.120312
4. Aldridge, S., Parascandola, J., and Sturchio, J. L. 1999. *The Discovery and Development of Penicillin 1928–1945. The Alexander Fleming Laboratory Museum, London, UK, November 19, 1999: An International Historic Chemical Landmark.* London: Royal Society of Chemistry and American Chemical Society.
5. Centers for Disease Control and Prevention. 2013. *Antibiotic Resistance Threats in the United States.* Available online at: <https://www.cdc.gov/drugresistance/pdf/ar-threats-2013-508.pdf>
6. World Health Organization. 2017. *Global Priority List of Antibiotic-Resistant Bacteria to Guide Research, Discovery, and Development of New Antibiotics.* Available

online at: https://www.who.int/medicines/publications/WHO-PPL-Short_Summary_25Feb-ET_NM_WHO.pdf?ua=1

7. Van Puyvelde, S., Deborggraeve, S., and Jacobs, J. 2018. Why the antibiotic resistance crisis requires a One Health approach. *Lancet Infect. Dis.* 18:132–4. doi: 10.1016/S1473-3099(17)30704-1

פורסם אונליין: 24 בפברואר 2022

נערך על ידי: Michel Goldman

מנחה מדעי: Olivier Vandenberg

ציטוט: Bonatelli ML, Oliveira LMA and Pinto TCA (2022) חיידקי-על בינינו: מי הם, ומה אתם יכולים לעשות כדי לסייע במאבק? *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00005-he

Bonatelli ML, Oliveira LMA and Pinto TCA (2020) Superbugs Among Us: Who They Are and What Can You Do to Help Win the Fight? *Front. Young Minds* 8:5. doi: 10.3389/frym.2020.00005

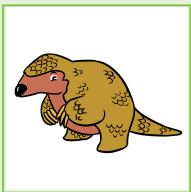
הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

COPYRIGHT © 2020 © Bonatelli, Oliveira and Pinto 2022. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution License (CC BY). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחברים (ים) המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

סוקר צעיר

FELIX, גיל: 16

אני תלמיד תיכון בבית הספר Ecole Decroly בבריסל. יש לי מגוון תחומי עניין, ואני נהנה ללמוד מדעים ומקצועות הומניים. התחביבים שלי כוללים רוג'בי; טיפוס סלעים; צפייה בסדרות דוקומנטריות ובילוי עם חברים. נוסף על כך אני נהנה להיות חבר בתנועת הצופים. שמחתי לתרום למאמר המעניין הזה.



הכותבות

MARIA LETÍCIA BONATELLI

אני ביולוגית עם תשוקה למיקרובים. במהלך הלימודים שלי, התמקדתי בחקר מיקרובים שחיים בסביבות תעשייתיות, וניסיתי להבין מה הם עושים שם. תמיד הייתי מרותקת על ידי הרעיון שמיקרובים נמצאים בכל מקום, ושהם יכולים לעצב את העולם שלנו. כיום, אני חוקרת באוניברסיטת סאו פאולו (USP) בברזיל, ואני מנסה להבין כיצד חיידקים שונים יכולים לסייע לנו לשפר ייצור של יבולים, כלומר לסייע לנו לגדל יותר אוכל מוצלח לאכילה.





LAURA MARIA ANDRADE OLIVEIRA

אני פרמקולוגית, בוגרת תואר שני בביוכימיה עם דגש על אימונולוגיה ומחלות זיהומיות. למדתי באוניברסיטה הפדרלית של ג'ואזו דה פורה (UFJF), וקיבלתי דוקטורט במיקרוביולוגיה באוניברסיטה הפדרלית של ריו דה ז'ניירו (UFRJ), שתיהן בברזיל. אני נלהבת לגבי העולם המיקרובי, ואני מתעניינת בהבנת האופן שבו מיקרובים קשורים לבריאות שלנו, וכיצד הם יכולים לגרום למחלות. אני מאמינה ששיתוף בידע שנוצר על ידי הקהילה המדעית עם כולם חשוב להמשך התקדמות המדע.



TATIANA CASTRO ABREU PINTO

עשיתי את הדוקטורט שלי במיקרוביולוגיה באוניברסיטה הפדרלית של ריו דה ז'ניירו (UFRJ) בברזיל, ואני פרופסורית במכון למיקרוביולוגיה פאולו דה גואז (IMPPG) של UFRJ מאז 2014. אני מתאמת קבוצת מחקר שמתמקדת בהבנת יכולות ההדבקה והעמידות האנטי-מיקרובית של חיידקים גורמי מחלות מסוימים. אני גם אימא, אישה, בת, ואזרחית ברזילאית. יש לי תשוקה למדע מאז בית הספר היסודי, והקדשתי את השנים האחרונות להגברת ההתלהבות כלפי מדע בקרב האוכלוסיה הכללית, עידוד ויצירת השראה אצל הדור הבא של מדענים במדינה שלי. *tcap@micro.ufrj.br

מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس
Bloomfield Science Museum Jerusalem



הוצאת פרונטירז מדע לצעירים ישראל
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK